



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZADA PARA EL CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO PATA PATA - 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Marcela Soriano Dilas

Asesor:

Msc. Ing. Juan Carlos, Flores Cerna

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Marcela Soriano Dilas**, denominada:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL
AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZADA PARA EL CONSUMO HUMANO EN EL
CENTRO POBLADO PATA PATA - 2018”**

Ing. Juan Carlos Flores Cerna
ASESOR

Ing. Magda Rosa Velásquez Marín
JURADO

Ing. Manuel Roncal Rabanal
JURADO

Ing. Alejandro Chávez Santa Cruz
JURADO

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mis padres y mi hermana a quienes amo con todo mi corazón, por apoyarme constantemente en mis logros y derrotas, por ser el cimiento principal para la construcción de mi vida profesional y darme aliento para superar cualquier barrera.

También a mis abuelitas Carmen y Elsa, por ser parte de mis logros, ser un ejemplo de fortaleza y perseverancia, por estar siempre presente. Sin ellas no estaría donde me encuentro ahora.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por protegerme en cada momento de mi vida, darme la fortaleza y sabiduría para afrontar los obstáculos durante el camino, por hacer que aprenda cada día de mis errores y superar las adversidades.

Agradezco a mis padres, por demostrarme el camino de la rectitud y su apoyo incondicional en cada momento de mi vida y por brindarme su amor y comprensión incondicional.

A mi hermana Carla, por apoyarme siempre, por su paciencia y cariño, por aconsejarme y darme ánimos para seguir adelante y superar las adversidades.

Al ingeniero Juan Carlos Flores Cerna, por su gran apoyo y motivación para el desarrollo y culminación de esta tesis.

A Juan Vargas, quien me brindó su apoyo incondicional, por motivarme constantemente a seguir adelante, por su paciencia y por ayudarme en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco también la Universidad Privada del Norte por permitirme formarme profesionalmente, por los buenos docentes que nos han compartido sus conocimientos incondicionalmente y de quienes hemos aprendido a fortalecer nuestros valores.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| APROBACIÓN DE LA TESIS..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | ix |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1. Realidad problemática..... | 12 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 13 |
| 1.3. Justificación..... | 13 |
| 1.4. Limitaciones..... | 13 |
| 1.5. Objetivos..... | 14 |
| 1.5.1. Objetivo general..... | 14 |
| 1.5.2. Objetivos específicos..... | 14 |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 2.1. Antecedentes..... | 15 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 17 |
| 2.2.1. Agua subterránea: | 17 |
| 2.2.2. Calidad del agua:..... | 19 |
| 2.3. Hipótesis..... | 39 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA..... | 40 |
| 3.1. Operacionalización de variables..... | 40 |
| 3.2. Diseño de investigación..... | 41 |
| 3.3. Unidad de estudio..... | 41 |
| 3.4. Población..... | 41 |
| 3.5. Muestra (muestreo o selección)..... | 41 |
| 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos..... | 41 |
| 3.6.1. Técnicas e instrumentos para recolectar datos:..... | 41 |
| 3.6.2. Procedimiento para análisis de información:..... | 42 |
| 3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos..... | 53 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS | 54 |

| | | |
|--|--|-----|
| 4.1. | Resultados del primer punto de muestreo (AS – 1)..... | 54 |
| 4.2. | Resultados del segundo punto de muestreo (AS – 2)..... | 55 |
| 4.3. | Resultados del tercer punto de muestreo (AS – 3)..... | 56 |
| CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN..... | | 58 |
| 5.1. | Comparación de las concentraciones de parámetros en los puntos AS-01, AS-02 y AS-03 con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1..... | 58 |
| 5.2. | Clasificación de dureza en el agua..... | 77 |
| 5.3. | Relación entre profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes..... | 79 |
| 5.4. | Relación entre calcio, magnesio, alcalinidad y dureza..... | 81 |
| 5.5. | Método de comparación de medias..... | 82 |
| CONCLUSIONES..... | | 87 |
| RECOMENDACIONES | | 90 |
| REFERENCIAS..... | | 92 |
| ANEXOS..... | | 95 |
| ANEXO N° 01: PANEL FOTOGRÁFICO..... | | 96 |
| ANEXO N° 02: UBICACIÓN GEORREFERENCIADA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO OBTENIDOS DE GOOGLE EARTH..... | | 102 |
| ANEXO 05: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Clasificación de la dureza del agua según la OMS | 23 |
| Tabla 2: Clasificación de TDS según la OMS | 24 |
| Tabla 3: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos..... | 32 |
| Tabla 4: Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica | 32 |
| Tabla 5: Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos..... | 33 |
| Tabla 6: Estándares de Calidad Ambiental Destinadas a la Producción de Agua Potable | 36 |
| Tabla 7: Operacionalización de variables. | 40 |
| Tabla 8: Georreferenciación de los puntos de muestreo | 41 |
| Tabla 9: Profundidad de los pozos muestreados..... | 42 |
| Tabla 10: Parámetros analizados en el Laboratorio Regional de Cajamarca | 43 |
| Tabla 11: Equipos utilizados para análisis | 44 |
| Tabla 12: Resultados físicoquímicos y microbiológicos del primer punto | 54 |
| Tabla 13: Resultados físicoquímicos y microbiológicos del segundo punto..... | 55 |
| Tabla 14: Resultados físicoquímicos y microbiológicos del tercer punto | 56 |
| Tabla 15: Clasificación de dureza según la organización mundial de salud | 77 |
| Tabla 16: Comparación de medias en el punto AS-01 | 82 |
| Tabla 17: Comparación de medias en el punto AS-02 | 84 |
| Tabla 18: Comparación de medias en el punto AS-03 | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Concentración de aluminio | 58 |
| Figura 2: Concentración de boro..... | 59 |
| Figura 3: Concentración de bario | 60 |
| Figura 4: Concentración de hierro..... | 61 |
| Figura 5: Concentración de manganeso | 62 |
| Figura 6: Concentración de molibdeno | 63 |
| Figura 7: Concentración de sodio | 64 |
| Figura 8: Concentración de selenio..... | 65 |
| Figura 9: Conductividad | 66 |
| Figura 10: Turbiedad | 67 |
| Figura 11: Concentración de cloruro | 68 |
| Figura 12: Concentración de nitritos | 69 |
| Figura 13: Concentración de nitratos | 70 |
| Figura 14: Dureza total..... | 71 |
| Figura 15: Concentración de sulfatos | 72 |
| Figura 16: pH..... | 73 |
| Figura 17: Oxígeno disuelto | 74 |
| Figura 18: Concentración de coliformes totales..... | 75 |
| Figura 19: Concentración de coliformes termotolerantes | 76 |
| Figura 20: Clasificación de dureza en el punto AS-01 | 77 |
| Figura 21: Clasificación de dureza en el punto AS-02 | 78 |
| Figura 22: Clasificación de la dureza en el punto AS-03 | 78 |
| Figura 23: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de febrero | 79 |
| Figura 24: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de abril..... | 80 |
| Figura 25: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de junio | 80 |
| Figura 26: Relación entre calcio, magnesio, alcalinidad y dureza | 81 |
| Figura 27: Toma de muestra en el punto AS-01 | 97 |
| Figura 28: Análisis insitu en el punto AS-01 | 97 |
| Figura 29: Toma de muestras en el punto AS-02 | 98 |
| Figura 30: Análisis insitu en el punto AS-02 | 98 |
| Figura 31: Toma de muestras en el punto AS-03 | 99 |
| Figura 32: Análisis insitu en el punto AS-03 | 99 |
| Figura 33: Instrumentos para analizar parámetros químicos..... | 100 |
| Figura 34: Proceso de análisis químico | 100 |
| Figura 35: Análisis en laboratorio de parámetros químicos..... | 101 |
| Figura 36: Análisis de parámetros químicos | 101 |
| Figura 37: Ubicación de los tres puntos de muestreo..... | 103 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1: Determinación de la alcalinidad | 45 |
| Ecuación 2: Determinación de cloruros | 46 |
| Ecuación 3: Determinación de la dureza | 50 |
| Ecuación 4: Coeficiente de variación para la determinación de correcto muestreo en el punto AS-01 | 83 |
| Ecuación 5: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los LMP en el punto AS-01 | 83 |
| Ecuación 6: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los ECA en el punto AS-01 | 83 |
| Ecuación 7: Coeficiente de variación para la determinación de correcto muestreo en el punto AS-02 | 84 |
| Ecuación 8: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los LMP en el punto AS-02 | 84 |
| Ecuación 9: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los ECA en el punto AS-02 | 85 |
| Ecuación 10: Coeficiente de variación para la determinación de correcto muestreo en el punto AS-03 | 86 |
| Ecuación 11: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los LMP en el punto AS-03 | 86 |
| Ecuación 12: Nivel de confianza de los resultados de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con respecto a los ECA en el punto AS-03 | 86 |

RESUMEN

El centro poblado de Pata Pata, ubicado en el distrito de Paríamarca, no contó con abastecimiento de agua potable continua, por lo que recurren al uso de agua subterránea para su consumo y otras actividades. No obstante, no consideran los posibles factores de contaminación que pueden llegar a afectar su calidad. El presente proyecto tuvo como objetivo principal evaluar la calidad físicoquímica y microbiológica del agua subterránea obtenida de 3 puntos de muestreo seleccionados por conveniencia y determinar si estas eran aceptables o no para el consumo humano en el centro poblado, para ello se comparó los resultados físicoquímicos y microbiológicos con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua aprobado en el D.S. N° 031-2010-SA y con los estándares de calidad ambiental categoría A1 aprobados por el D.S. N° 004-2017-MINAM. Finalmente se concluyó que el agua de los tres puntos de muestreo no son aceptables para el consumo humano porque hubo presencia excesiva de coliformes tanto totales como termotolerantes, por lo que debe pasar por un proceso de tratamiento. Con respecto a los otros parámetros físicoquímicos todos se encontraron dentro de los límites a excepción de la turbiedad, que se excedió en el punto AS-03 en el mes de febrero; el oxígeno disuelto, sulfatos, que se excedieron en el punto AS-02 en el mes de junio y nitritos que se excedieron en el punto AS-02 en el mes abril.

ABSTRACT

In the Pata Pata town center, located in the district of Pariamarca there is no continuous drinking water supply, so they resort to the use of groundwater for their consumption and other activities. However, they do not consider the possible contamination factors that may affect their. The main objective of this project was to evaluate the physicochemical and microbiological quality of the groundwater obtained from 3 sampling points selected for convenience and to determine if these were acceptable or not for human consumption in the populated center, for this the physicochemical and microbiological parameters were compared with the maximum permissible limits established in the regulation of water quality approved in D.S. N° 031-2010-SA and with the environmental quality standards subcategory A1 approved by D.S. N° 004-2017-MINAM. Finally, it was concluded that the water of the three sampling points were not acceptable for human consumption because there is an excessive presence of both total and thermotolerant coliforms, so it must go through a treatment process. With respect to the other physicochemical parameters, all are within the limits except for turbidity, which is exceeded in point AS-03 in the month of February; dissolved oxygen, sulfates, which are exceeded at the AS-02 point in the month of June and nitrites that exceed the AS-02 point in the month of April.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El agua es sin duda uno de los recursos más importantes e indispensables para la vida y el desarrollo de la sociedad. De él dependemos para sobrevivir y realizar diferentes actividades cotidianas, desde las más sencillas como su consumo hasta las más complejas como para uso industrial, del cual se puede obtener diversa variedad de subproductos de los que dependemos. En pocas palabras, se puede afirmar que, sin la presencia de este líquido vital, la humanidad sería inexistente.

Por otro lado, a pesar de ser uno de los recursos vitales para la supervivencia de la humanidad y de ser uno de los más abundantes recursos presentes en el planeta tierra, sólo un mínimo porcentaje del total es apto para el consumo del hombre (agua dulce). Dichas cifras solo hacen referencia al agua contenida en la corteza terrestre en los primeros 10 km que hay bajo la superficie del suelo. De dichas aguas el 97.4 % es agua salada y sólo el 2.6 % es agua dulce que se reparte a su vez en el 2.2 % en agua superficial y el 0.6 % en agua subterránea. Del agua superficial el 2 % está en los glaciares, el 0.01 % en lagos y el 0.0001 % en ríos y en corrientes. Del 0.6 % correspondiente a agua subterránea el 0.3 % resulta económicamente explotable y el resto se encuentra a profundidades mayores de 800 m. (María Victoria, 1999)

El agua subterránea es importante como fuente de agua potable, para la irrigación agrícola, uso industrial, entre otras actividades. Pero lo que la define particularmente como fuente de agua para consumo, es que presenta menor contaminación a causa de la capacidad de filtración del suelo, además de ser poco afectado en periodos prolongados de sequía. Sin embargo, éste también puede verse afectado de diferentes maneras por parte de la actividad humana como descarga de efluentes a tanques sépticos, líneas de desagüe hasta el nivel freático, derrame de hidrocarburos, operaciones agrícolas que elevan la cantidad de pesticidas y sales inorgánicas en el agua, entre otros. Aun así, la contaminación es un fenómeno local que solo afecta al acuífero superior en un área no menor a 1.5 km de largo y 0.5 km, donde los contaminantes se mueven en el intervalo de 0.3 m al día. (R.D. Arizábalo, 1991)

El centro poblado de Pata Pata, a consecuencia del escaso abastecimiento de agua potable, hace pozos en la zona para obtener agua subterránea que utilizan para su consumo, agricultura, ganadería, entre otros. Sin embargo, el problema a considerar es que dicha población no cuenta con un sistema de desagüe, por lo que tienen que hacer uso de pozos

sépticos, el cual puede contaminar biológicamente al agua subterránea que ellos consumen. Además, dicha agua presenta alto contenido de minerales que como consecuencia hace que el agua sea dura, lo cual en casos extremos puede generar alteraciones a la salud de la población.

1.2. Formulación del problema

¿El agua subterránea utilizada para consumo humano en el Centro Poblado Pata Pata tiene una calidad físicoquímica y microbiológica aceptable?

1.3. Justificación

En la actualidad, la necesidad de disponer de recursos hídricos es de vital importancia para el desarrollo tanto social como económico. Es por ello que, desde hace muchos años atrás, un método de obtención de este recurso es mediante la excavación de pozos para sacar agua del subsuelo. Sin embargo, no siempre la calidad de estas aguas es apta para consumo humano o para el uso en sus diversas actividades, entre ellas la agrícola.

El centro poblado de Pata Pata no cuenta con el abastecimiento de agua potable necesario, es por ello que se perforaron pozos para obtener agua para su consumo y la realización de diferentes actividades. Las aguas obtenidas de estas perforaciones se ven afectadas por los pozos sépticos que se encuentran alrededor de la zona, la agricultura, la crianza de animales, entre otros; estos factores conllevan a la alteración de la calidad de dichas aguas y por ende un posible foco de enfermedades para la población.

Es por ello que el propósito de este proyecto de investigación es analizar y evaluar los parámetros físicoquímicos y microbiológicos para determinar si éstos sobrepasan los límites permisibles para su consumo y a la vez recomendar posibles tratamientos para estas aguas.

1.4. Limitaciones

La presente investigación se limita a tales aspectos como la falta de información del lugar a ser estudiado, la dificultad de acceso a ciertos lugares específicos. A pesar de las limitaciones que se pueden presentar, se buscará fuentes externas para la obtención de información.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad físicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el centro poblado de Pata Pata.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de metales totales, oxígeno disuelto, alcalinidad, cloruros, nitritos, nitratos, fósforo total, sulfatos, dureza, el pH, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), sal y turbiedad.
- Determinar la concentración de coliformes totales y termotolerantes.
- Comparar y analizar los resultados obtenidos de laboratorio con los límites máximos permisibles según el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado por el D.S. N° 031-2010-SA y los estándares de calidad ambiental establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM.
- Recomendar posibles tratamientos para estas aguas.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacionales:

- **Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia**

Investigación realizada por la Corporación Autónoma Regional del Cesar, que consta en la realización de un estudio para evaluar la calidad de las aguas subterráneas ubicadas en 93 aljibes en los municipios de La Paz y San Diego (Cesar) en el año 2009. En el presente proyecto se caracterizaron propiedades microbiológicas (*Pseudomonas aeruginosa* y protozoos patógenos) y fisicoquímicas (conductividad, pH, temperatura, sólidos disueltos totales, salinidad acidez, alcalinidad, turbidez, cloruros, amonio, nitritos, nitratos, hierro, magnesio, sodio y calcio, estos tres últimos para calcular la aptitud para el riego con el fin de evidenciar la calidad del agua de la que se abastecen los habitantes). De las muestras analizadas en un 89.94 % se encontró *P. aeruginosa*. Se identificaron 5 géneros de protozoos siendo *Giridia sp* el patógeno con mayor prevalencia, representado un 46.1%, seguido de *Cryptosporidium sp* con un 22.18 %; en relación a los resultados físico químicos, estos indicaron que de los aljibes muestreados solo un 4.3 % contienen agua apta para el riego sin que su uso acarree riesgos para la salud. (Vence Marquéz, Rivera Gonzáles, Osorio Bayter, & Castillo Sarabia, 2012)

- **Estudio sobre la calidad del agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala:**

El proyecto de investigación realizado por Ramírez Mejía Lilian en la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene como objetivo principal determinar las condiciones y características bajo las que se encuentra el agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad de Guatemala, así como proporcionar soluciones prácticas y concisas que ayuden a una mejor conservación del recurso de este sector. Para ello se hizo una descripción de la geología del valle para comprender el comportamiento de los acuíferos del área de estudio, luego se determinó el proceso de monitoreo siendo las siguientes:

- Una campaña de muestreo de agua de los pozos a mediados del período seco: febrero-abril.
- Una campaña de muestreo a mediados del período de lluvia: junio-septiembre.

- Una campaña de toma de muestras de los pozos a inicio del período seco: noviembre-diciembre.

Siendo la distribución de los pozos monitoreados:

- Sector 1 Hacienda Real, zona 16 y Canalitos 2.
- Sector 2 El Rodeo y Lavarreda zona 18.
- Sector 3 Vista Hermosa, San Gaspar, zonas 15 y 16.
- Sector 4 Sector Norte y zona 6.

Se utilizó el método DRASTIC para determinar el grado de vulnerabilidad de los acuíferos en estudio, la cual indica que, a mayor infiltración, mayores son las posibilidades de que una carga contaminante llegue hasta el nivel freático.

Gracias al método gráfico de Stiff se determinó que existen dos tipos de aguas: uno corresponde al área de Canalitos y Vista Hermosa, en donde los aniones predominantes son de carbonatos y bicarbonatos, y el catión dominante es el calcio; otra en el área Norte y El Rodeo/Lavarreda, en que se puede observarse que el catión Ca^{++} es predominante, así como los aniones carbonatos y bicarbonatos. La diferencia de las aguas radica en el medio que circula; el primer sector es de rocas volcánicas, y de caliza karstificada para el segundo. (Ramírez Mejía, 2003)

Nacionales

- **Calidad física, química y bacteriológicas de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016:**

Calsín (2016) realizó un estudio con el objetivo de determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca, ya que dicho sector es susceptible a ser contaminadas por material orgánico que conllevan a la contaminación por microorganismos exponiendo a las personas a un riesgo de enfermedades gastrointestinales y sustancias químicas. En el presente proyecto se caracterizaron parámetros físicos (conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbiedad), parámetros químicos (pH, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza) y parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterotróficas). De las muestras analizadas se pudo concluir que los parámetros físicos y químicos de pozos artesanales y tubulares, de acuerdo a los resultados no exceden los LMP emitidos por el D.S. N° 031-2010-SA, lo cual indica que éstas aguas son aptas para el consumo humano; sin embargo, se pudo determinar que los parámetros bacteriológicos sobrepasan dichos límites, por lo

tanto, no son aptas para el consumo a pesar de que los parámetros físicos químicos demuestren lo contrario. (Calsín Ramírez, 2016)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua subterránea:

Es aquella parte de agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

2.2.1.1. Acuíferos:

La mayor parte de los espacios porosos de las rocas bajo el nivel freático están llenos de agua. Pero las rocas tienen una porosidad diferente y características permeables diferentes, lo que significa que el agua no se mueve de igual manera en todo tipo de rocas. Cuando la roca almacenadora de agua permite que la misma se fluya hacia los pozos y en los arroyos, recibe el nombre de “acuífero”. De manera general, un acuífero es una unidad geológica saturada que contiene y transmite agua de buena calidad, de tal manera que pueda extraerse en cantidades económicamente aprovechables. (Mamani Vilcapaza, 2012)

- **Acuíferos Libres:** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)
- **Acuíferos Confinados:** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)
- **Acuíferos Semiconfinados:** Los muros y el techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten la circulación vertical del agua. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

2.2.1.2. Calidad de agua subterránea:

Debido a que el agua subterránea se mueve a través de las rocas y la tierra del subsuelo, puede fácilmente disolver sustancias durante este movimiento. Por dicha razón, el agua subterránea muy frecuentemente puede contener más sustancias que las halladas en el agua superficial. (Mamani Vilcapaza, 2012)

2.2.1.3. Modos de contaminación:

Las aguas subterráneas no están directamente expuestas a los efectos de las actividades humanas, desarrolladas en la superficie. No obstante, las sustancias contaminantes llegan a los acuíferos de diversos modos:

- Infiltración de sustancias depositadas en superficie, o de la lluvia a través de ellas.
- Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra, o disolución de ellas por el flujo natural del agua subterránea.
- Filtración desde un río influente.
- Derrames o rezumes accidentales de depósitos o conducciones, superficiales o enterrados.
- Desde la superficie a través de captaciones abandonadas o mal construidas.
- Desde otro acuífero, a través de captaciones que comuniquen ambos acuíferos.
- Inyección en pozos.

(Sánchez San Román, s.f.)

2.2.1.4. Actividades contaminantes:

- **Residuos sólidos urbanos:** Normalmente depositados en superficie, alcanzan la superficie freática los líquidos procedentes de los propios residuos o el agua de lluvia infiltrada a través de ellos, que arrastra todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Sánchez San Román, s.f.)
- **Aguas residuales:** Las aguas residuales de los núcleos urbanos se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas. En ocasiones, tras una ligera depuración, se esparcen en superficie para aprovechar el poder filtrante del suelo ("filtro verde"). Los lodos resultantes de la depuración pueden representar después una segunda fase del mismo problema. Aportan diversas sustancias contaminantes: Detergentes, Nitratos, Bacterias y virus, materia orgánica disuelta. (Sánchez San Román, s.f.)

- **Actividades agrícolas:** Son muy difíciles de controlar ya que se trata de contaminación difusa en grandes extensiones.

Fertilizantes: Aportan al agua compuestos de N, P y K. En algunos casos se ha determinado que hasta el 50 % de los nitratos llegan al acuífero por infiltración.

Plaguicidas: Se incluyen los insecticidas, fungicidas, acaricidas, nematocidas, rodenticidas, bactericidas, herbicidas, etc. Se han estudiado los distintos coeficientes de absorción, de degradación y la vida media de diversos pesticidas orgánicos. La persistencia oscila de una semana a varios años. (Sánchez San Román, s.f.)

- **Ganadería:** De los residuos de los animales proceden compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y, en algunos casos, metales pesados. Normalmente no ocasionan problemas importantes, salvo en el caso de grandes instalaciones. Resultan especialmente graves las granjas porcinas (los residuos líquidos se denominan purines). (Sánchez San Román, s.f.)

2.2.2. Calidad del agua:

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: a) una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas y b) la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad del agua presenta variaciones temporales y espaciales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. (Sierra Ramírez, 2011)

2.2.2.1. Parámetros físicoquímicos:

➤ **Turbiedad:**

Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. Es producida por una gran variedad de causas. Entre ellas pueden ser:

- La erosión natural de las cuencas, la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos.
- Contaminación causada por la industria por desechos domésticos.

La turbiedad puede tener origen inorgánico (arcilla, arenas, etc.) como el caso de la turbiedad aportada por la erosión, hasta tener un alto contenido de material orgánico (microorganismos, limus, etc.) como el caso de turbiedad aportada por actividades antrópicas. (Sierra Ramírez, 2011)

➤ **pH:**

Es el término para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención se define como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Por análisis químico, el pH se encuentra entre los rangos de 0 a 14.

Donde 7 es neutro, a mayor sea el valor el agua se considera más básica o alcalina; mientras menor sea su valor se considera más ácida. (Sierra Ramírez, 2011)

➤ **Cloruros:**

El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua. El alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado. Altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden matar a la vegetación circundante

El cloruro, en forma de ión (Cl^-) es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual.

La infiltración de aguas subterránea en las alcantarillas contiguas a aguas saladas constituye también una potencial fuente de cloruros y sulfatos. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Oxígeno disuelto:**

La oxigenación del agua se debe principalmente a la solubilización del oxígeno atmosférico y minoritariamente a su generación en la fotosíntesis, principalmente de algas. Sin embargo, el oxígeno así formado durante el día, se consume en parte durante la noche, cuando las algas consumen oxígeno para su metabolismo, luego de la muerte de las algas la degradación de esta biomasa también consume oxígeno.

La concentración (C) del oxígeno en agua depende, de la presión parcial (P) del oxígeno en la atmósfera y de la temperatura del agua, se deduce que la concentración del oxígeno en agua a 25°C es 8.32 mg/L o 8.32 (partes por

millón). Dado que la solubilidad de un gas en el agua disminuye con el aumento de temperatura, a 35°C la solubilidad del O₂ en H₂O es 7.03 mg/L y a 0°C aumenta a 14.74 mg/L. Estos valores expresan que la cantidad de oxígeno disuelto en agua es muy baja y que el aumento de temperatura incide fuertemente en su disminución. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Sulfato:**

Se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas. El sulfato (SO₄²⁻) se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Fosfato:**

Estas formas del fosfato surgen de una diversidad de fuentes. Cantidades pequeñas de algunos fosfatos condensados se añaden a algunos suministros de agua durante el tratamiento, y se pueden añadir cantidades mayores de los mismos compuestos cuando el agua se utiliza para lavar ropa u otras limpiezas, ya que son los componentes principales de muchos preparados comerciales para la limpieza. Los fosfatos se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas de calderas. Los ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra cultivada agrícola o residencial son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y, en menor proporción, con la nieve derretida. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos. Son aportados al alcantarillado por los residuos corporales y de alimentos y también se pueden formar a partir de los ortofosfatos durante los procesos de tratamiento biológico o por recibir la carga biológica del agua. (APHA,AWWA,WPCF, 2017)

➤ **Alcalinidad:**

La alcalinidad de muchas aguas superficiales depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Los valores determinados pueden incluir también la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases. La determinación de la alcalinidad se utiliza en el control de los procesos de tratamiento de aguas. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Nitrito:**

Las heces de los animales contienen proteína no asimilada (nitrógeno orgánico) y las proteínas que quedan en los cuerpos de los animales y plantas que mueren se convierten en gran medida en amoníaco por acción de las bacterias heterótrofas, en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. El amoníaco liberado por la acción de las bacterias sobre la urea y las proteínas es utilizado por las plantas. Si se libera en exceso es oxidado por las bacterias (nitrosomas) que en condiciones aeróbicas convierten el amoníaco a nitrito. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Nitrato:**

Los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas. Los nitratos producidos en exceso para las necesidades de la vida vegetal, son transportados por el agua, luego estas se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos pudiendo encontrarse en concentraciones superiores en aguas subterráneas.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco, así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanos y animales puede contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Conductividad:**

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición.

El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma.

De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens/L ($\mu\text{S/L}$).

A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Dureza:**

Se denomina a la propiedad que tienen ciertas aguas para cortar el jabón, es decir que se requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. También tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas se formen incrustaciones en los equipos.

Las aguas duras no presentan ningún problema sanitario. Sin embargo, si se va a utilizar en la industria deben ser tratadas.

La dureza la ocasiona la presencia de cualquier catión bivalente en el agua, principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} . La dureza ingresa al agua en el proceso natural de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo.

Con respecto a la dureza no carbonácea, referida comúnmente como dureza permanente esta es ocasionada por la presencia de sulfatos, cloruros o nitratos de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Es importante notar que la dureza no carbonácea no se puede remover elevando la temperatura. Las sales que ocasionan este tipo de dureza son insolubles, por lo tanto, el tratamiento con cal o soluciones ácidas no es efectivo. (Sierra Ramírez, 2011)

En el mundo existen una serie de clasificaciones del agua respecto a su contenido de dureza, siendo una de las más utilizadas la de la Organización Mundial de la Salud (OMS). (Neira Gutiérrez, 2006)

Tabla 1:
Clasificación de la dureza del agua según la OMS

| CaCO_3 (mg/L) | Tipo de Agua |
|------------------------|--------------------|
| 0 – 60 | Blanda |
| 61 – 120 | Moderadamente dura |
| 121 – 180 | Dura |
| >180 | Muy dura |

Fuente: (Neira Gutiérrez, 2006)

➤ **Sólidos disueltos totales:**

Es la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. Es clasificado como un contaminante secundario por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (USEPA) y se sugiere un máximo de 500 mg/L en agua potable. Éste estándar secundario se establece porque TDS elevado proporciona al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor en ésta. Personas no acostumbradas al agua con alto contenido de TDS pueden experimentar irritación gastrointestinal al beber ésta. TDS también pueden interferir con equipos de tratamiento y es importante considerarlo al instalar un sistema de tratamiento de agua. Tratamiento de agua por TDS puede lograrse por ósmosis reversa o destilación. (Sigler & Bauder, 2015)

Según la clasificación de nivel de TDS propuesta por la OMS, el agua se clasifica en:

Tabla 2:
Clasificación de TDS según la OMS

| mg/L | Tipo de agua |
|------------|--------------|
| < 300 | Excelente |
| 300 – 600 | Bueno |
| 600 – 900 | Regular |
| 900 – 1200 | Pobre |
| >1200 | Inaceptable |

Fuente: (Tapp water, 2018)

➤ **Salinidad:**

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua. Ésta y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas.

Las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua potable o de riego. También influyen en la biota acuática y cada organismo tolera una gama de valores de conductividad. La composición iónica del agua puede ser crítica. Por ejemplo, los *cladocerans* (pulgas de agua) son mucho más sensibles al cloruro de potasio que al cloruro de sodio en concentraciones iguales. La conductividad varía en función de la fuente de agua: agua subterránea, agua de escorrentía de la agricultura, aguas residuales municipales y precipitación. Por lo tanto, la conductividad puede ser un

indicador de filtración en agua subterránea o de fugas de aguas residuales.
(Agencia de Protección del Medio Ambiente de California , 2013)

➤ **Aluminio:**

El aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, ocupa el tercer lugar en orden de abundancia entre los elementos de la corteza terrestre formando parte del 8 % de la misma; es un constituyente natural de suelos, plantas y tejidos animales. Ésta amplia distribución es la causa de la presencia de aluminio en casi todas las aguas naturales. (Dirección General de Salud Ambiental)

Existe una recomendación de la OMS sobre contenido de aluminio en el agua potable proveniente de plantas de tratamiento estableciendo 0.1 mg/L para grandes instalaciones y 0.2 mg/L para pequeñas basada en la optimización práctica del proceso. Esta recomendación se ha establecido por motivos de aspecto visual y sabor. (Asociación Española del Aluminio, 2008)

La toma de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. En concentraciones significantes puede causar un efecto serio a la salud como:

- Daño al sistema nervioso central.
- Demencia.
- Pérdida de la memoria.
- Apatía.
- Temblores severos.

(Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Boro:**

El boro se encuentra de forma natural en el medioambiente debido a que es liberado al aire, suelo y agua a través de los procesos de erosión. Este puede también aparecer en el agua subterránea en muy pequeñas cantidades. Los humanos utilizan boro en las industrias del vidrio pero la liberación de boro por los humanos es más pequeña que las concentraciones liberadas por procesos naturales de erosión. (Ravelo Polo, 2012)

Es un elemento ubicuo que entra en las aguas superficiales y subterráneas a través de dos vías principales: intemperismo de rocas que contienen boro (*i.e.* *borosilicatos* del tipo turmalina y axinita) y aguas residuales donde el B se

deriva de productos de limpieza y residuos de industrias de pinturas y barnices, textiles, curtido de pieles, electrónica, entre otras. (Vásquez, Pimentel, & Ortega, 2010)

➤ **Bario:**

El bario se encuentra en la naturaleza en muchas formas diferentes llamadas compuestos de bario. Estos compuestos son sólidos que existen en forma de polvos o cristales, y que no se incendian fácilmente. Hay dos formas del bario, el sulfato de bario y el carbonato de bario, que se encuentran a menudo en la naturaleza en forma de depósitos minerales subterráneos. A veces el bario se encuentra naturalmente en el agua potable y en alimentos. Debido a que algunos compuestos de bario (sulfato de bario y carbonato de bario) no se mezclan muy bien con agua, la cantidad de bario es baja. (Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2007)

Los efectos sobre la salud del Bario dependen de la solubilidad de los compuestos. Compuestos del Bario que se disuelven en agua pueden ser dañino para la salud humana. La toma de gran cantidad de Bario que es soluble puede causar parálisis y en algunos casos incluso la muerte. Pequeñas cantidades de bario soluble en agua puede causar en las personas dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, arritmia, dolor de estómago, debilidad en los músculos, cambios en los reflejos nerviosos, inflamación del cerebro y el hígado. Daño en los riñones y el corazón. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Hierro:**

El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0.5 a 50 mg/L. También puede haber hierro en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Manganeso:**

El manganeso es un metal que ocurre naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas y generalmente se encuentra asociado al hierro. (Dirección General de Salud Ambiental)

Hay manganeso de origen natural en muchas fuentes de agua superficial y subterránea, sobre todo en condiciones anaerobias o de microoxidación, y es

la fuente más importante de manganeso en el agua de consumo, aunque la mayor exposición proviene, habitualmente, de los alimentos. Las concentraciones en el agua dulce varían habitualmente entre 1 y 200 µg/L, aunque se han descrito concentraciones de hasta 10 mg/L en aguas subterráneas ácidas y niveles aún más altos en aguas aerobias, habitualmente asociados a contaminación industria (Organización Mundial de la Salud, 1998)

➤ **Molibdeno:**

En el ambiente principalmente es encontrado en su naturaleza como sulfuro de molibdeno en el mineral molibdenita. El molibdeno puede ser soltado al ambiente por la combustión de fósil, aguas desechos industriales, el transporte de minerales y de la distribución de agua residuales. (Texas Department of State Health Services, Environmental and Injury Epidemiology & Toxicology Group, 2012)

Las concentraciones en el agua de consumo generalmente son menores que 0.01 mg/L, aunque se han descrito concentraciones de hasta 200 µg/L en zonas cercanas a explotaciones mineras. (Organización Mundial de la Salud, 1998)

La toxicidad de molibdeno es relacionada a la cantidad de cobre acumulado en el cuerpo. Si alguien no tiene una cantidad adecuada de cobre en sus cuerpos, la persona podría estar en más riesgo a la toxicidad de molibdeno. (Texas Department of State Health Services, Environmental and Injury Epidemiology & Toxicology Group, 2012)

➤ **Sodio:**

Las sales de sodio se encuentran en casi todos los alimentos y en el agua de consumo. Aunque las concentraciones de sodio en el agua potable normalmente son inferiores a 20 mg/L, en algunos países pueden superar en gran medida esta cantidad. Las concentraciones de sales de sodio en el aire son normalmente bajas con respecto a las presentes en los alimentos o el agua. No se pueden extraer conclusiones definitivas con respecto a la posible asociación entre la presencia de sodio en el agua de consumo y la hipertensión. Por consiguiente, no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/L, el agua podría tener un gusto inaceptable. (Organización Mundial de la Salud, 1998)

➤ **Plomo:**

Las aguas naturales contienen solamente trazas de plomo. La mayor fuente de plomo en el agua puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Selenio:**

El selenio está presente en la corteza terrestre, generalmente en asociación con minerales que contienen azufre. Las concentraciones en el agua de consumo varían mucho de unas regiones geográficas a otras, pero suelen ser mucho menores que 0.01 mg/L. (Organización Mundial de la Salud, 1998)

➤ **Calcio:**

Normalmente el calcio forma sales generalmente solubles, con aniones como hidrogenocarbonato, sulfato, cloruro y fluoruro. En general, suele ser el catión mayoritario en las aguas. El calcio pasa al agua por disolución cuando proviene de sulfatos (especialmente yesos, muy solubles) y silicatos, o por la acción del CO₂ disuelto en el agua cuando se trata de Ca presente en calizas, margas y dolomitas. El aporte del metal al agua es muy notable en terrenos yesíferos, por ejemplo, la depresión del Ebro, pudiendo también acceder a las aguas dulces mediante fenómenos de intrusión salina que también incrementaría la concentración de Mg en las aguas afectadas. (Lenntech, 2018)

➤ **Potasio:**

Elemento químico, símbolo K, número atómico 19 y peso atómico 39.098. Ocupa un lugar intermedio dentro de la familia de los metales alcalinos después del sodio y antes del rubidio. Este metal reactivo es ligero y blando. Se parece mucho al sodio en su comportamiento en forma metálica. El potasio puede ser encontrado en vegetales, frutas, patatas, carne, pan, leche y frutos secos. Juega un importante papel en los sistemas de fluidos físicos de los humanos y asiste en las funciones de los nervios. Cuando nuestros riñones no funcionan bien se puede dar la acumulación de potasio. Esto puede llevar a cabo una perturbación en el ritmo cardíaco. (Lenntech, 2018)

➤ **Litio:**

El agua de mar contiene aproximadamente 0.17 ppm de litio. Los ríos generalmente contienen 3 ppb, mientras que el agua mineral contiene 0.05-1 mg de litio por litro. Cantidades superiores de litio se encontraron en aguas

de Karlsbad, Marienbad y Vichy. En solución se encuentra como Li^+ (aq). La cantidad de litio en el cuerpo humano es aproximadamente de 7 mg. El litio no presenta uso biológico conocido, y no es absorbido fácilmente por el cuerpo humano. La mayor parte del litio se excreta directamente. Aunque el litio no es un elemento esencial, influye en el metabolismo. Tras el consumo oral el litio puede ser medianamente tóxico. La tolerancia física difiere de un organismo a otro. En los años 40, algunos pacientes que utilizaron cloruro de litio como sustituto de la sal murieron. (Lenntech, 2018)

➤ **Magnesio:**

El cuerpo humano contiene alrededor de 25 g de magnesio, del cual el 60% está presente en los huesos y el 40% está presente en los músculos y en otros tejidos. Se trata de un mineral alimenticio para los seres humanos, es uno de los elementos que son responsables de la función de las membranas, transmisión de estímulos nerviosos, contracción de músculos, construcción de proteínas y de réplica de ADN. El magnesio es un ingrediente principal para la mayor parte de las enzimas. (Lenntech, 2018)

➤ **Fósforo total:**

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Su origen es el lixiviado de los terrenos que atraviesa, o por contaminación orgánica. Actualmente existe una fuente contaminante de fósforo artificial, por el uso de los detergentes polifosfatados. Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de lagos y pantanos. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento. Es uno de los factores a tener en cuenta cuando hay un desarrollo exuberante de algas en una conducción de agua. La forma asimilable del fósforo es el ión fosfato, aunque en el agua a veces se encuentran compuestos fosforados en estado coloidal o en forma de fósforo elemento. (Lenntech, 2018)

➤ **Azufre:**

El azufre no está regulado como un contaminante del agua potable primaria, por lo que no existe un nivel oficial de azufre que representa un umbral entre las concentraciones saludables y no saludables. El azufre es requerido por todos los seres vivos como parte de su metabolismo normal, por lo que el cuerpo necesita una cierta cantidad de azufre sólo para vivir. (Gestión sostenible del agua, 2016)

➤ **Silicio:**

Símbolo Si, número atómico 14 y peso atómico 28.086. El silicio es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Es un metaloide con marcado lustre metálico y sumamente quebradizo. El silicio elemental es un material inerte, que parece carecer de la propiedad de causar fibrosis en el tejido pulmonar. Sin embargo, se han documentado lesiones pulmonares leves en animales de laboratorio sometidos a inyecciones intratraqueales de polvo de silicio. El polvo de silicio tiene pocos efectos adversos sobre los pulmones y no parece producir enfermedades orgánicas significativas o efectos tóxicos cuando las exposiciones se mantienen por debajo de los límites de exposición recomendados. El silicio puede tener efectos crónicos en la respiración. (Lenntech, 2018)

➤ **Vanadio:**

El vanadio (V) es un elemento en abundancia en nuestro planeta. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y es abundante en rocas, petróleo, agua superficial y subterránea, etc. Está presente naturalmente en las aguas subterráneas en diferentes formas morfológicas, siendo la más frecuente el $V^{(+5)29}$. En los seres vivos, el V puede ingresar al organismo por inhalación o a través de la piel y la mucosa gastrointestinal. (Carrera Pérez, Álvarez Gonzáles, & Fernández Cirelli, 2014)

➤ **Estroncio:**

El estroncio es un elemento natural que ocurre comúnmente en el ambiente. El estroncio natural no es radiactivo. El estroncio se encuentra en el ambiente generalmente en forma de minerales. El estroncio puede formar una variedad de compuestos. Los compuestos de estroncio no tienen ningún olor característico. Existen dos tipos de compuestos de estroncio, aquellos que se disuelven en agua y los insolubles en agua. El estroncio natural existe en cuatro formas estables (o isótopos): 84Sr , 86Sr , 87Sr y 88Sr . (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2016)

➤ **Alcalinidad:**

La alcalinidad del agua es también conocida como capacidad buffer del agua. En general, la alcalinidad del agua se debe a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución, los cuales son muy comunes en las aguas subterráneas. Cuando se riegan cultivos con aguas de estas características se tienen los mismos efectos. (INTAGRI, 2017)

2.2.2.2. Parámetros microbiológicos:

➤ **Coliformes totales:**

Pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición.

También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua. (Dirección General de Salud Ambiental)

➤ **Coliformes fecales o termotolerantes:**

Es un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los seres humanos y animales. Su presencia indica que el agua de su pozo está contaminada con excremento o desechos de alcantarillas y tiene el potencial de causar enfermedades. (North California Public Health, 2009)

2.2.2.3. Límites máximos permisibles para el agua (LMP):

De acuerdo al numeral 32.1 del artículo 32 de la Ley N° 28611 Ley general del ambiente, se define a límite máximo permisible como la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físico, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (MINAM, 2005)

Según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (Tabla 3, 4 y 5), aprobado por el D.S. N° 031-2010-SA, dispone los siguientes límites:

Tabla 3:
Límites Máximos Permisibles de Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos

| Parámetros | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|--|---------------------|--------------------------|
| Bacteria coliformes totales | UFC/100 mL a 35°C | 0 (*) |
| E. Coli | UFC/100 mL a 44.5°C | 0 (*) |
| Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales | UFC/100 mL a 44.5°C | 0 (*) |
| Bacterias Heterotróficas | UFC/mL a 35°C | 500 |
| Huevos y larvas de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos | Nº org/L | 0 (*) |
| Virus | UFC /mL | 0 (*) |
| Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estados evolutivos | Nº org/L | 0 (*) |

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1.8 /100 ml

Fuente: (D.S. Nº 031-2010-SA, 2011)

Tabla 4:
Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica

| Parámetros | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Olor | | Aceptable |
| Sabor | | Aceptable |
| Color | UCV escala Pt/Co | 15 |
| Turbiedad | UNT | 5 |
| pH | Valor de pH | 6.5 a 8.5 |
| Conductividad 25°C | µmho/cm | 1500 |
| SDT | mg/L | 1000 |
| Cloruro | mg Cl/L | 250 |
| Sulfatos | mg SO ₄ ²⁻ /L | 250 |
| Dureza total | mg CaCO ₃ /L | 500 |
| Amoniaco | mg N/L | 1.5 |
| Hierro | mg Fe/L | 0.3 |
| Manganeso | mg Mn/L | 0.4 |
| Aluminio | mg Al/L | 0.2 |
| Cobre | mg Cu/L | 2 |
| Zinc | mg Zn/L | 3 |
| Sodio | mg Na/L | 200 |

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: (D.S. Nº 031-2010-SA, 2011)

Tabla 5:
Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos

| Parámetros Inorgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|---|-------------------------|--|
| Antimonio | mg Sb/L | 0.02 |
| Arsénico (nota 1) | mg As/L | 0.01 |
| Bario | mg Ba/ L | 0.7 |
| Boro | mg B/L | 1.5 |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.003 |
| Cianuro | mg CN/L | 0.07 |
| Cloro (nota 2) | mg Cl/L | 5 |
| Clorito | mg/L | 0.7 |
| Clorato | mg/L | 0.7 |
| Cromo total | mg Cr/L | 0.05 |
| Flúor | mg F/L | 1 |
| Mercurio | mg Hg/L | 0.001 |
| Níquel | mg Ni/L | 0.02 |
| Nitratos | mg (NO ₃)/L | 50 |
| Nitritos | mg (NO ₂)/L | 3.00 Exposición corta 0.20 Exposición larga |
| Plomo | mg Pb/L | 0.01 |
| Selenio | mg Se/L | 0.010 |
| Molibdeno | mg Mo/L | 0.07 |
| Uranio | mg U/L | 0.015 |
| Parámetros Orgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
| Trihalometanos totales (nota 3) | mg/L | 1 |
| Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral | mg/L | 0.01 |
| Aceites y grasas | mg/L | 0.5 |
| Alacloro | mg/L | 0.020 |
| Aldicarb | mg/L | 0.010 |
| Aldrín y dieldrín | mg/L | 0.00003 |
| Benceno | mg/L | 0.010 |
| Clordano (total de isómeros) | mg/L | 0.0002 |
| DDT (total de isómeros) | mg/L | 0.001 |
| Endrin | mg/L | 0.0006 |
| Gamma HCH (lindano) | mg/L | 0.002 |
| Hexaclorobenceno | mg/L | 0.001 |
| Heptacloro y heptacloroepóxido | mg/L | 0.00003 |
| Metoxicloro | mg/L | 0.020 |

| | | |
|--------------------------------|------|--------|
| Pentaclorofenol | mg/L | 0.009 |
| 2,4-D | mg/L | 0.030 |
| Acrilamida | mg/L | 0.0005 |
| Epíclorhidrina | mg/L | 0.0004 |
| Cloruro de vinilo | mg/L | 0.0003 |
| Benzopireno | mg/L | 0.0007 |
| 1,2-dicloroetano | mg/L | 0.03 |
| Tetracloroetano | mg/L | 0.04 |
| Monocloramina | mg/L | 3 |
| Tricloroetano | mg/L | 0.07 |
| Tetracloruro de carbono | mg/L | 0.004 |
| Ftalato de di (2-etilhexilo) | mg/L | 0.008 |
| 1,2- Diclorobenceno | mg/L | 1 |
| 1,4- Diclorobenceno | mg/L | 0.3 |
| 1,1- Dicloroetano | mg/L | 0.03 |
| 1,2- Dicloroetano | mg/L | 0.05 |
| Diclorometano | mg/L | 0.02 |
| Ácido edético (EDTA) | mg/L | 0.6 |
| Etilbenceno | mg/L | 0.3 |
| Hexaclorobutadieno | mg/L | 0.0006 |
| Ácido Nitrilotriacético | mg/L | 0.2 |
| Estireno | mg/L | 0.02 |
| Tolueno | mg/L | 0.7 |
| Xileno | mg/L | 0.5 |
| Atrazina | mg/L | 0.002 |
| Carbofurano | mg/L | 0.007 |
| Clorotoluron | mg/L | 0.03 |
| Cianazina | mg/L | 0.0006 |
| 2,4- DB | mg/L | 0.09 |
| 1,2- Dibromo-3- Cloropropano | mg/L | 0.001 |
| 1,2- Dibromoetano | mg/L | 0.0004 |
| 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP) | mg/L | 0.04 |
| 1,3- Dicloropropeno | mg/L | 0.02 |
| Dicloroprop | mg/L | 0.1 |
| Dimetato | mg/L | 0.006 |
| Fenoprop | mg/L | 0.009 |
| Isoproturon | mg/L | 0.009 |
| MCPA | mg/L | 0.002 |
| Mecoprop | mg/L | 0.01 |
| Metolacoloro | mg/L | 0.01 |
| Molinato | mg/L | 0.006 |

| | | |
|---|------|-------|
| Pendimetalina | mg/L | 0.02 |
| Simazina | mg/L | 0.002 |
| 2,4,5- T | mg/L | 0.009 |
| Terbutilazina | mg/L | 0.007 |
| Trifluralina | mg/L | 0.02 |
| Cloropirifos | mg/L | 0.03 |
| Piriproxifeno | mg/L | 0.3 |
| Microcistin-LR | mg/L | 0.001 |
| Bromato | mg/L | 0.01 |
| Bromodichlorometano | mg/L | 0.06 |
| Bromoformo | mg/L | 0.1 |
| Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído) | mg/L | 0.01 |
| Cloroformo | mg/L | 0.2 |
| Cloruro de cianógeno | mg/L | 0.07 |
| Dibromoacetoniitrilo | mg/L | 0.07 |
| Dibromoclorometano | mg/L | 0.1 |
| Dicloroacetato | mg/L | 0.05 |
| Dicloroacetoniitrilo | mg/L | 0.02 |
| Formaldehído | mg/L | 0.9 |
| Monocloroacetato | mg/L | 0.02 |
| Tricloroacetato | mg/L | 0.2 |
| 2,4,6- Triclorofenol | mg/L | 0.2 |

Fuente: (D.S. N° 031-2010-SA, 2011)

2.2.2.4. Estándares de calidad ambiental para el agua (ECA):

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (MINAM, 2005)

De acuerdo al D.S. N° 004 – 2017 – MINAM, se consideran los siguientes estándares de calidad para el agua (Tabla 6):

Tabla 6:
Estándares de Calidad Ambiental Destinadas a la Producción de Agua Potable

| ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL | | | | |
|--|-----------------|---|---|---|
| Categoría 1: Poblacional y recreacional | | | | |
| Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable | | | | |
| Parámetros | Unidad | A1 | A2 | A3 |
| | | Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección | Aguas que pueden ser potabilizas con tratamiento convencional | Aguas que pueden ser potabilizas con tratamiento avanzado |
| Físicoquímico | | | | |
| Aceites y Grasas | mg/L | 0.5 | 1.7 | 1.7 |
| Cianuro Total | mg/L | 0.07 | ** | ** |
| Cianuro Libre | mg/L | ** | 0.2 | 0.2 |
| Cloruros | mg/L | 250 | 250 | 250 |
| Color (b) | Color verdadero | 15 | 100 (a) | ** |
| | Escala Pt/Co | | | |
| Conductividad | (µS/cm) | 1500 | 1600 | ** |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L | 3 | 5 | 10 |
| Dureza | mg/L | 500 | ** | ** |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | 10 | 20 | 30 |
| Fenoles | mg/L | 0.003 | ** | ** |
| Fluoruros | mg/L | 1.5 | ** | ** |
| Fósforo Total | mg/L | 0.1 | 0.15 | 0.15 |
| Materiales Flotantes de Origen Antropogénico | | Ausencia de material flotante de origen antrópico | Ausencia de material flotante de origen antrópico | Ausencia de material flotante de origen antrópico |
| Nitratos (NO ₃) ⁻ (c) | mg/L | 50 | 50 | 50 |
| Nitritos (NO ₂) ⁻ (d) | mg/L | 3 | 3 | ** |
| Amoniaco- N | mg/L | 1.5 | 1.5 | ** |
| Oxígeno Disuelto (valor mínimo) | mg/L | 6 | 5 | 4 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Unidad de pH | 6.5 – 8.5 | 5.5 – 9.0 | 5.5 - 9.0 |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/L | 1000 | 1000 | 1500 |
| Sulfatos | mg/L | 250 | 500 | ** |
| Temperatura | °C | 3 | 3 | ** |

| | | | | |
|--|-------|--------|--------|-------|
| Turbiedad | UNT | 5 | 100 | ** |
| Inorgánicos | | | | |
| Aluminio | mg/L | 0.9 | 5 | 5 |
| Antimonio | mg/L | 0.02 | 0.02 | ** |
| Arsénico | mg/L | 0.01 | 0.01 | 0.15 |
| Bario | mg/L | 0.7 | 1 | ** |
| Berilio | mg/L | 0.012 | 0.04 | 0.1 |
| Boro | mg/L | 2.4 | 2.4 | 2.4 |
| Cadmio | mg/L | 0.003 | 0.005 | 0.01 |
| Cobre | mg/L | 2 | 2 | 2 |
| Cromo Total | mg/L | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Hierro | mg/L | 0.3 | 1 | 5 |
| Manganeso | mg/L | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| Mercurio | mg/L | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
| Molibdeno | mg/L | 0.07 | ** | ** |
| Níquel | mg/L | 0.07 | ** | ** |
| Plomo | mg/L | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| Selenio | mg/L | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| Uranio | mg/L | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Zinc | mg/L | 3 | 5 | 5 |
| Orgánicos | | | | |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40) | mg/L | 0.01 | 0.2 | 1.0 |
| Trihalometanos | (e) | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Bromoformo | mg/L | 0.1 | ** | ** |
| Cloroformo | mg/L | 0.3 | ** | ** |
| Dibromoclorometano | mg/L | 0.1 | ** | ** |
| Bromodiclorometano | mg/L | 0.06 | ** | ** |
| I. Compuestos orgánicos volátiles | | | | |
| 1,1,1-Tricloroetano | mg/L | 0.2 | 0.2 | ** |
| 1,1-Dicloroetano | mg/L | 0.03 | ** | ** |
| 1,2 Dicloroetano | mg/L | 0.03 | 0.03 | ** |
| 1,2 Diclorobenceno | mg/L | 1 | ** | ** |
| Hexaclorobutadieno | mg/L | 0.0006 | 0.0006 | ** |
| Tetracloroetano | mg/L | 0.04 | ** | ** |
| Tetracloruro de carbono | mg/L | 0.004 | 0.004 | ** |
| Tricloroetano | mg/L | 0.07 | 0.07 | ** |
| BTEX | | | | |
| Benceno | mg/L | 0.01 | 0.01 | ** |
| Etilbenceno | mg/L | 0.3 | 0.3 | ** |
| Tolueno | mg/L | 0.7 | 0.7 | ** |

| | | | | |
|---|-----------------|----------|----------|----------|
| Xilenos | mg/L | 0.5 | 0.5 | ** |
| Hidrocarburos Aromáticos | | | | |
| Benzo(a)pireno | mg/L | 0.0007 | 0.0007 | ** |
| Pentaclorofenol (PCP) | mg/L | 0.009 | 0.009 | ** |
| Organofosforados | | | | |
| Malatión | mg/L | 0.19 | 0.0001 | ** |
| Organoclorados | | | | |
| Aldrín + Dieldrín | mg/L | 0.00003 | 0.00003 | ** |
| Clordano | mg/L | 0.0002 | 0.0002 | ** |
| Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) | mg/L | 0.001 | 0.001 | ** |
| Endrin | mg/L | 0.0006 | 0.0006 | ** |
| Heptacloro + Heptacloro Epóxido | mg/L | 0.00003 | 0.00003 | ** |
| Lindano | mg/L | 0.002 | 0.002 | ** |
| Carbamato | | | | |
| Aldicarb | mg/L | 0.01 | 0.01 | ** |
| II. Cianotoxinas | | | | |
| Microcistina-LR | mg/L | 0.001 | 0.001 | ** |
| III. Bifenilos policlorados | | | | |
| Bifenilos Policlorados (PCB) | mg/L | 0.0005 | 0.0005 | ** |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes Totales | NMP/100mL | 50 | ** | ** |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100mL | 20 | 2000 | 20000 |
| Formas Parasitarias | N° Organismo/L | 0 | ** | ** |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100mL | 0 | ** | ** |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Presencia/100mL | Ausencia | Ausencia | Ausencia |
| Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f) | N° Organismo/L | 0 | <5x106 | <5x106 |

Fuente: (D.S N° 004-2017-MINAM, 2017)

Notas:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
- En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

2.3. Hipótesis

H0: Los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de las aguas subterráneas utilizadas para el consumo humano del centro poblado Pata Pata no tienen calidad aceptable.

H1: Los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de las aguas subterráneas utilizadas para el consumo humano del centro poblado Pata Pata tienen calidad aceptable.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables:

Tabla 7:

Operacionalización de variables.

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|---|---------------------------------------|
| <u>Variable Dependiente:</u> Agua subterránea | Agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. | Reglamento de la calidad del agua para el consumo humano según D.S N° 031-2010-SA | Calidad aceptable |
| | | Estándares de calidad ambiental para el agua según el D.S N° 004-2017-SA | Calidad no aceptable |
| <u>Variable Independiente</u> Calidad del agua subterránea | La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: a) una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas y b) la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad del agua presenta variaciones temporales y espaciales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. | Parámetros fisicoquímico | |
| | | Conductividad | µS/cm |
| | | Turbiedad | UNT |
| | | Sal | ppt |
| | | Sólidos disueltos totales | ppm |
| | | Alcalinidad total | Valor de alcalinidad |
| | | Cloruro | mg Cl ⁻ /L |
| | | Nitrito | mg (NO ₂) ⁻ /L |
| | | Nitrato | mg (NO ₃) ⁻ /L |
| | | Fósforo total | mg PO ₄ |
| | | Metales totales | mg/L |
| | | Dureza total | mg CaCO ₃ /L |
| | | Sulfato | mg SO ₄ ²⁻ /L |
| | | pH | Valor de pH |
| | | Oxígeno disuelto | mg/L |
| | | Parámetros microbiológicos | |
| | | Coliformes totales | UFC/100mL |
| | | Coliformes fecales | UFC/100mL |

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación del presente proyecto es de tipo descriptivo transversal, ya que busca describir la calidad físicoquímica y biológica que presenta las aguas subterráneas del centro poblado de Pata Pata y a la vez analizar la relación que presentan dichos resultados con la realidad que presenta el centro poblado.

3.3. Unidad de estudio

El estudio a realizarse serán los pozos de agua del centro poblado Pata Pata.

3.4. Población

Los pozos de captación de agua subterránea del centro poblado Pata Pata.

3.5. Muestra (muestreo o selección)

Las muestras se determinaron por conveniencia, por la accesibilidad y disponibilidad de los usuarios a brindar apoyo para la realización del proyecto de investigación. Estas muestras fueron obtenidas de 3 pozos distribuidos en el centro poblado Pata Pata perteneciente a la municipalidad de Paríamarca, geográficamente localizado en la provincia de Cajamarca. La localización geográfica de las muestras identificadas como AS-01, AS-02 y AS-03, son:

Tabla 8:
Georreferenciación de los puntos de muestreo

| Pozo | Latitud | Longitud |
|---------|--------------|---------------|
| AS – 01 | 7°12'5.54"S | 78°28'57.43"O |
| AS – 02 | 7°11'57.71"S | 78°29'8.36"O |
| AS – 03 | 7°12'14.74"S | 78°29'5.96"O |

Fuente: Propia

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas e instrumentos para recolectar datos:

- Inició con la etapa de exploración de zonas que cuenten con acceso a agua subterránea para consumo, dicha información se obtuvo a partir de referencias brindadas por pobladores que tenían conocimiento de la ubicación de las zonas.
- Se realizó una evaluación de la zona de trabajo, donde se seleccionó aleatoriamente 3 puntos de muestreo por conveniencia.

Tabla 9:
Profundidad de los pozos muestreados

| Pozo | Latitud | Longitud | Profundidad |
|---------|--------------|---------------|-------------|
| AS – 01 | 7°12'5.54"S | 78°28'57.43"O | 15 m |
| AS – 02 | 7°11'57.71"S | 78°29'8.36"O | 7 m |
| AS – 03 | 7°12'14.74"S | 78°29'5.96"O | 8 m |

- Luego se recolectó las muestras de los 3 puntos seleccionados en los meses de febrero, abril y junio, donde cada muestra fue enviada al Laboratorio Regional del Agua para realizar los análisis de metales, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los parámetros de pH, conductividad, TDS, sal y oxígeno disuelto fueron analizados insitu y los parámetros de nitritos, nitratos, sulfatos, fosfatos, alcalinidad, dureza, cloruros y turbiedad fueron analizados personalmente en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte.
- Una vez obtenido los resultados se hizo la comparación con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental para determinar si son aptos para el consumo de los pobladores.

3.6.2. Procedimiento para análisis de información:

Los siguientes parámetros fueron analizados en el Laboratorio Regional de Cajamarca (Tabla 10):

Tabla 10:
Parámetros analizados en el Laboratorio Regional de Cajamarca

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Parámetros físicoquímicos | Plata |
| | Aluminio |
| | Arsénico |
| | Boro |
| | Bario |
| | Berilio |
| | Bismuto |
| | Calcio |
| | Cadmio |
| | Cobalto |
| | Cromo |
| | Cobre |
| | Hierro |
| | Potasio |
| | Litio |
| | Magnesio |
| | Manganeso |
| | Molibdeno |
| | Sodio |
| | Níquel |
| | Fósforo |
| | Plomo |
| | Azufre |
| | Antimonio |
| | Selenio |
| | Silicio |
| | Estroncio |
| | Titanio |
| | Talio |
| | Uranio |
| | Vanadio |
| | Zinc |
| Parámetros Microbiológicos | Coliformes totales |
| | Coliformes termotolerantes |

Para la elaboración propia de los análisis de los parámetros que a continuación se mencionarán, se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos (Tabla 11):

Tabla 11:
Equipos utilizados para análisis

| Equipos | Especificaciones |
|----------------|---|
| De campo | |
| Multiparámetro | <p>Marca y modelo: APERA PC60</p> <p>Especificación: Realiza mediciones de pH, conductividad, TDS, salinidad y temperatura de una manera exacta, rápida y confiable para todo tipo de soluciones acuosas regulares, tales como hidroponía, acuicultura, piscinas y spas, agua de grifo / agua potable, agua tratamiento, torres de enfriamiento, etc.</p> <p>La sonda de parámetros múltiples es reemplazable.</p> |
| | <p>Marca y modelo: HACH HQ40d</p> <p>Especificaciones: Mide los parámetros de calidad del agua (pH, conductividad, oxígeno disuelto, amoníaco, cloruro, sodio y temperatura) y se conecta con las sondas inteligentes IntelliCAL que reconocen automáticamente el parámetro de prueba, el historial de calibración y el método.</p> |
| De laboratorio | |
| Colorímetro | <p>Marca y modelo: HACH DR 900</p> <p>Especificación: El multiparámetro presenta la selección automática de la longitud de onda, la corrección avanzada del blanco de reactivos y el ajuste de la curva de calibración. El análisis se puede realizar con tiempos de reacción predeterminados o establecidos por el usuario con temporizador incorporado. La gran pantalla retroiluminada lee los resultados como concentración, absorbancia o porcentaje de transmitancia.</p> |
| Turbidímetro | <p>Marca y modelo: HACH 2100Q</p> |

Especificaciones: Facilidad de uso y una precisión insuperables en la medición de la turbidez. Cuenta con calibración asistida y la transferencia de datos simplificada, y la innovación en la medición, que le proporcionan resultados precisos en todo momento.

A. Para análisis de alcalinidad total:

El presente análisis se hizo mediante el método de titulación, que consta en:

Instrumentos:

- Agitador magnético
- Matraces volumétricos de 250 mL
- Bureta de 25 mL
- Gotero

Reactivos

- Fenolftaleína
- Anaranjado de metilo
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) de 0.0196N

Procedimiento:

- Se midió 100 mL de muestra en el matraz.
- Se añadió 3 gotas de anaranjado de metilo y fenolftaleína a la muestra y se agitó.
- Se introdujo el ácido sulfúrico a la bureta de 25 mL.
- A la muestra se le añadió gota a gota el ácido sulfúrico hasta que éste formó un color rosa salmón.
- Una vez que se obtuvo el color deseado se midió el volumen de H₂SO₄ gastado.
- Para determinar la alcalinidad de las muestras se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{L}} = \frac{N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * V_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 50}{V_{\text{muestra}} (\text{L})} \quad (1)$$

La Ecuación 1 se empleó para determinar la alcalinidad total.

Donde:

N = Concentración

V = Volumen

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

B. Para análisis de cloruro:

El presente análisis se hizo mediante el método arganométrico, que consta en:

Instrumentos:

- Bureta de 25 mL
- Matraces volumétricos de 250 mL
- Agitador magnético
- Gotero

Reactivos:

- Cromato potásico
- Nitrato de plata (AgNO_3) de 0.0099N

Procedimiento:

- Se midió 100 mL de muestra en el matraz.
- Se añadió 5 gotas de cromo potásico a la muestra.
- Se introdujo el nitrato de plata a la bureta de 25 mL.
- Se añadió gota a gota el nitrato de plata a la solución hasta que cambió a color naranja.
- Una vez que se obtuvo el color deseado se midió el volumen de AgNO_3 gastado.
- Para determinar los cloruros presentes en las muestras se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{ppm} = \frac{N_{\text{AgNO}_3} * V_{\text{AgNO}_3} * 35.453}{V_{\text{muestra}} \text{ (L)}} \quad (2)$$

La Ecuación 2 se empleó para la determinación de la concentración de cloruros.

Donde:

N = Concentración

V = Volumen

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

C. Para análisis de nitritos:

El presente análisis se realizó utilizando el método de diazotización, que consta en:

Instrumentos:

- DR 900

Reactivos:

- NitríVer 3

Procedimiento:

- Se ingresó el número del programa almacenado para nitrógeno nitrito ($\text{NO}_2^- - \text{N}$). Se presionó **PRGM** y la pantalla mostró **PRGM?**
 - Se presionó **60 ENTER** y la pantalla mostró mg/L $\text{NO}_2^- - \text{N}$ y el ícono **ZERO**.
 - Se llenó una celda con 10 mL de muestra.
 - Se agregó el contenido de una almohadilla del reactivo NitríVer 3, se tapó la celda y agitó para disolver.
 - Se presionó **TEMPORIZADOR** y un periodo de reacción de 1 minuto comenzó. Luego se agitó la celda vigorosamente hasta que el temporizador emitió un pitido.
 - Después de que el temporizador emitió el pitido, la pantalla mostró **5:00 TEMPORIZADOR 2** y se presionó **ENTER** y un periodo de reacción de 5 minutos comenzó.
 - Se colocó el blanco en el soporte de las celdas y se cubrió firmemente con la tapa del instrumento.
 - Cuando el temporizador emitió un pitido se pulsó **ZERO** y el cursor se movió hacia la derecha, entonces la pantalla mostró **0.000 mg/L $\text{NO}_2^- - \text{N}$**
 - Se colocó la muestra preparada dentro del soporte y se cerró con la tapa del instrumento.
 - Se presionó **LEER** y el cursor se movió a la derecha, luego el resultado en mg/L nitrógeno nitrito se mostró.
- (HACH COMPANY, 2013)

D. Para análisis de nitratos:

El presente análisis se realizó utilizando el método de reducción de cadmio, que consta en:

Instrumentos:

- DR 900

Reactivos:

- NitraVer 5

Procedimiento:

- Se ingresó el número de programa almacenado para nitrógeno de nitrato de alto rango (NO_3^- -N). Luego se presionó **PRGM**, donde la pantalla mostró **PRGM**
 - Se presionó **51 ENTER** y la pantalla mostró **mg/L, NO_3^- -N** y el ícono **ZERO**.
 - Se llenó una celda con 10 mL de muestra.
 - Se añadió el contenido de una almohadilla de reactivo de nitrato NitraVer 5 en la celda de muestra (la muestra preparada) y luego se tapó la celda de muestra.
 - Se presionó **TEMPORIZADOR** y comenzó un periodo de reacción de un minuto. Luego se agitó la muestra vigorosamente hasta que temporizador sonó.
 - Después de que la alarma suene el monitor mostró **5:00 TIMER 2** y el periodo de reacción de 5 minutos comenzó.
 - Se llenó otra celda con 10 mL de muestra (el blanco) sin que tenga huellas o líquido.
 - Se introdujo el blanco dentro del porta celdas y se cerró herméticamente con la tapa del instrumento.
 - Cuando la alarma suene se presionó **ZERO**. El cursor se movió a la derecha y luego el monitor mostró: **0.0 mg/L NO_3^- -N**
 - Luego se colocó la muestra preparada dentro del porta celdas y se tapó herméticamente.
 - Se presionó **LEER** y el cursor se movió hacia la derecha, luego el resultado en mg/L NO_3^- -N se mostró.
- (HACH COMPANY, 2013)

E. Para análisis de fósforo total:

El presente análisis se realizó utilizando el método de PhosVer3, que consta en:

Instrumentos:

- DR 900

Reactivos:

- PhosVer3

Procedimiento:

- Se ingresó el número de programa almacenado para el método de ácido ascórbico de fósforo. Se presionó **PRGM** y el programa mostró **PRGM?**

- Se presionó **79 ENTER** y el monitor mostró **mg/L, PO₄** y el ícono **ZERO**.
- Se llenó la celda de la muestra con 10 mL de muestra.
- A la muestra se le añadió el contenido de una almohadilla de PhosVer3 Phosphate Powdered para 10 mL y se sacudió por 15 segundos.
- Se presionó **TEMPORIZADOR** y empezó un periodo de reacción de 6 a 8 minutos.
- Se llenó otra celda con 10 mL de muestra (el blanco).
- Se colocó el blanco dentro del porta celdas y se cerró con la tapa del instrumento.
- Se presionó **ZERO** y el cursor se movió a la derecha, luego el monitor mostró **0.0 mg/L PO₄**.
- Después que la alarma suene se colocó la muestra preparada en el porta celdas y se tapó herméticamente.
- Se presionó **LEER** y el cursor se movió a la derecha, luego el resultado en mg/L fosfato (PO₄³⁻) se mostró.
(HACH COMPANY, 2013)

F. Para análisis de conductividad:

El presente análisis se realizó insitu y consta en:

Instrumentos:

- Multiparámetro

Procedimiento:

- Se recogió un poco de muestra en el contenedor del multiparámetro.
- Se colocó el electrodo del multiparámetro en la muestra y se seleccionó la opción de conductividad.
(APHA, AWWA, WPCF, 2017)

G. Para análisis de dureza total:

El presente análisis se hizo mediante el método titulométrico de EDTA, que consta en:

Instrumentos:

- Agitador magnético
- Matraces volumétricos de 250 mL
- Bureta de 25 mL
- Gotero

- Pipeta de 1 mL

Reactivos:

- Indicadores: Negro de eritocromo
- Titulante EDTA estándar, 0.01M
- Buffer pH 10

Procedimiento:

- Se midió 100 mL de muestra en el matraz.
- Se añadió 1 mL de buffer pH y una pizca de negro de eritocromo a la muestra.
- Se introdujo el EDTA a la bureta de 25 mL.
- Se añadió gota a gota el titulante EDTA a la solución hasta que haya cambiado a color azul.
- Una vez que se obtuvo el color deseado se midió el volumen de EDTA gastado.
- Para determinar la dureza de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mgCaCO}_3}{L} = \frac{V_{\text{EDTA}} * \text{factor}}{V_{\text{muestra}} (L)} \quad (3)$$

La Ecuación 3 se empleó para determinar la dureza del agua.

Donde:

V = Volumen

$$\text{factor} = \frac{10\text{mgCaCO}_3}{V_{\text{EDTA}}}$$

Para determinar el factor se pesó 10 mg de CaCO_3 y se lo introdujo a un matraz con 50 mL de agua destilada más 1mL de buffer y una pizca de negro de eritocromo. Luego se dejó caer gota a gota el titulante EDTA hasta que se obtuvo un color azul. Una vez que cambió el color, se midió el volumen de EDTA gastado.

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

H. Para análisis de sulfatos:

El presente análisis se realizó utilizando el método SulfaVer 4, que consta en:

Instrumentos:

- DR 900

Reactivos:

- SulfaVer 4

Procedimiento:

- Se ingresó el número de programa almacenado para sulfato (SO_4), se presionó **PRGM** y la pantalla mostró **PRGM?**
- Se presionó **91 ENTER** o el número de programa seleccionado por el usuario para su calibración. La pantalla mostró mg/L SO_4 y el icono **ZERO**.
- Se llenó una celda limpia con 10 mL de muestra.
- Se añadió el contenido de una almohadilla de polvo de reactivo de SulfaVer 4 a la muestra, luego se tapó y agitó la muestra.
Nota: Una turbiedad blanca se desarrolló de sulfato.
- Se presionó el contador del tiempo y un periodo de 5 minutos comenzó.
- Después de las señales sonoras del tiempo, se llenó una segunda celda con 10 mL de muestra (el blanco).
- Se colocó el blanco dentro del porta celdas y se cerró con la tapa del instrumento.
- Se presionó **ZERO** y el cursor se movió hacia la derecha, entonces la pantalla mostró: **0.mg/L SO_4**
- Dentro de los 5 minutos después de que suene el tiempo, se colocó la muestra preparada en el soporte de la celda. Se cubrió firmemente la celda de la muestra con la tapa del instrumento.
- Se presionó **LEER** y el cursor se movió a la derecha, entonces el resultado en mg/L sulfato (SO_4) se mostró.
(HACH COMPANY, 2013)

I. Para análisis de oxígeno disuelto:

El presente análisis se hizo insitu mediante el método de electrodo de membrana, que consta en:

Instrumentos:

- Electrodo de membrana sensible al oxígeno.

Procedimiento:

- Se calibró el electrodo según las especificaciones del fabricante con agua destilada.
- Para realizar la medición de la muestra se siguieron todas las precauciones según las especificaciones del fabricante.
(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

J. Para análisis de pH:

El presente análisis se hizo in situ y consta en:

Instrumentos:

- Multiparámetro

Procedimiento:

- Se recogió un poco de muestra en el contenedor del multiparámetro.
- Se colocó el electrodo del multiparámetro en la muestra y se seleccionó la opción de conductividad.

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

K. Para análisis de turbiedad:

Conservación de la muestra

Se determinará la turbidez el mismo en que se toma la muestra, en caso contrario no suceda, se dejará almacenado en un ambiente oscura por un periodo no más a 24 horas.

El presente análisis se hará mediante el método nefelométrico, que consta en:

Instrumentos:

- Turbidímetro
- Tubos de muestra

Reactivos:

- Agua libre de turbidez

Procedimiento:

- Se calibró el turbidímetro siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Se introdujo el tubo de muestra con la muestra tomada y se hizo la lectura de la turbiedad.

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

L. Para análisis de sal:

El presente análisis se realizó insitu y consta en:

Instrumentos:

- Multiparámetro

Procedimiento:

- Se recogió un poco de muestra en el contenedor del multiparámetro.
- Se colocó el electrodo del multiparámetro en la muestra y se seleccionó la opción de sal.

(APHA,AWWA,WPCF, 2017)

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Una vez obtenido los resultados de los análisis físicoquímicos y microbiológicos, éstos fueron analizados mediante el método estadístico de comparación de medias, el cual se hizo comparando los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua aprobado en el D.S. N° 031-2010-SA y con los estándares de calidad ambiental aprobados por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Resultados del primer punto de muestreo (AS – 1):

Tabla 12:
Resultados físicoquímicos y microbiológicos del primer punto

| Parámetro | Unidad | Febrero | Abril | Junio |
|-------------------|--------|---------|--------|--------|
| Físicoquímico | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Aluminio (Al) | mg/L | <LCM | <LCM | 0.095 |
| Arsénico (As) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Boro (B) | mg/L | 0.582 | 0.031 | 0.031 |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.1 | 0.106 | 0.103 |
| Berilio (Be) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Bismuto (Bi) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Calcio (Ca) | mg/L | 139.2 | 105.5 | 146.0 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobalto (Co) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cromo (Cr) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobre (Cu) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Hierro (Fe) | mg/L | <LCM | 0.023 | 0.060 |
| Potasio (K) | mg/L | 0.615 | 0.83 | 0.747 |
| Litio (Li) | mg/L | <LCM | 0.006 | 0.006 |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 13.11 | 12.6 | 12.63 |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.002 | 0.008 | 0.025 |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | <LCM | <LCM | 0.002 |
| Sodio (Na) | mg/L | 12.97 | 14.26 | 12.94 |
| Niquel (Ni) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.02 | 0.092 | 0.114 |
| Plomo (Pb) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Azufre (S) | mg/L | 21.97 | 16.06 | 15.84 |
| Antimonio (Sb) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Selenio (Se) | mg/L | <LCM | 0.027 | 0.063 |
| Silicio (Si) | mg/L | 6.89 | 5.686 | 6.485 |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.744 | 0.687 | 0.747 |
| Titanio (Ti) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Talio (Tl) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Uranio (U) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Vanadio (V) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Zinc (Zn) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Conductividad | µS/cm | 636 | 644 | 679 |
| Turbiedad | UNT | 0.75 | 0.63 | 3.54 |
| Alcalinidad total | mg/L | 342.02 | 322.43 | 365.54 |

| | | | | |
|---|--------------|-------|-------|--------|
| Cloruro | mg/L | 24.92 | 20.7 | 21.41 |
| Nitrito | mg/L | 0.039 | 0.16 | 0.029 |
| Nitrato | mg/L | 0.09 | 0.13 | 0.18 |
| Fósforo total | mg/L | 3.18 | 0.06 | 3.05 |
| Dureza total | mg/L | 373.3 | 331.4 | 304.74 |
| Sulfato | mg/L | 80 | 48 | 55 |
| pH | Unidad de pH | 7.56 | 8.2 | 7.39 |
| OD | mg/L | 6.36 | 5.3 | 4.81 |
| TDS | ppm | 482 | 458 | 483 |
| Sal | ppt | 0.34 | 0.36 | 0.34 |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes totales | NMP/100mL | 540 | 350 | 92*100 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100mL | 10 | 11 | 540 |
| LCM: Límite de cuantificación de método | | | | |

4.2. Resultados del segundo punto de muestreo (AS – 2):

Tabla 13:
Resultados físicoquímicos y microbiológicos del segundo punto

| Parámetro | Unidad | Febrero | Abril | Junio |
|----------------|--------|---------|-------|-------|
| Físicoquímico | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Aluminio (Al) | mg/L | <LCM | 0.036 | 0.049 |
| Arsénico (As) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Boro (B) | mg/L | 0.714 | 0.032 | 0.035 |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.433 | 0.429 | 0.422 |
| Berilio (Be) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Bismuto (Bi) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Calcio (Ca) | mg/L | 165.6 | 141.1 | 182.9 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobalto (Co) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cromo (Cr) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobre (Cu) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Hierro (Fe) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Potasio (K) | mg/L | 23.88 | 30.17 | 31.33 |
| Litio (Li) | mg/L | <LCM | 0.004 | <LCM |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 19.85 | 20.84 | 23.48 |
| Manganeso (Mn) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | <LCM | 0.003 | 0.003 |
| Sodio (Na) | mg/L | 23.58 | 28.28 | 28.51 |
| Niquel (Ni) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.086 | 0.279 | 0.267 |

| | | | | |
|---|--------------|--------|--------|--------|
| Plomo (Pb) | mg/L | <LCM | 0.006 | <LCM |
| Azufre (S) | mg/L | 41.95 | 33.7 | 49.81 |
| Antimonio (Sb) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Selenio (Se) | mg/L | <LCM | 0.034 | 0.048 |
| Silicio (Si) | mg/L | 9.765 | 9.156 | 10.590 |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.739 | 0.726 | 0.824 |
| Titanio (Ti) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Talio (Tl) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Uranio (U) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Vanadio (V) | mg/L | <LCM | <LCM | 0.008 |
| Zinc (Zn) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Conductividad | µS/cm | 929 | 912 | 994 |
| Turbiedad | UNT | 0.93 | 0.85 | 1.26 |
| Alcalinidad total | mg/L | 382.2 | 398.86 | 403.76 |
| Cloruro | mg/L | 56.86 | 52.65 | 43.52 |
| Nitrito | mg/L | 0.167 | 0.354 | 0.138 |
| Nitrato | mg/L | 0.13 | 0.27 | 0.22 |
| Fósforo total | mg/L | 1.36 | 4.86 | 5.24 |
| Dureza total | mg/L | 473.96 | 439.96 | 515.19 |
| Sulfato | mg/L | 152 | 106 | 288 |
| pH | Unidad de pH | 7.41 | 7.96 | 7.56 |
| OD | mg/L | 5.49 | 4.64 | 5.41 |
| TDS | ppm | 482 | 458 | 483 |
| Sal | ppt | 0.34 | 0.36 | 0.34 |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes totales | NMP/100mL | 430 | 350 | 920 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100mL | 2 | 26 | 40 |
| LCM: Límite de cuantificación de método | | | | |

4.3. Resultados del tercer punto de muestreo (AS – 3):

Tabla 14:
Resultados físicoquímicos y microbiológicos del tercer punto

| Parámetro | Unidad | Febrero | Abril | Junio |
|---------------|--------|---------|-------|-------|
| Físicoquímico | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.192 | 0.034 | 0.050 |
| Arsénico (As) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Boro (B) | mg/L | 0.528 | 0.022 | <LCM |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.097 | 0.112 | 0.094 |
| Berilio (Be) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Bismuto (Bi) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |

| | | | | |
|---|--------------|--------|--------|--------|
| Calcio (Ca) | mg/L | 107.2 | 122.3 | 144.3 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobalto (Co) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cromo (Cr) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Cobre (Cu) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.042 | 0.021 | <LCM |
| Potasio (K) | mg/L | 14.57 | 5.303 | 3.740 |
| Litio (Li) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 9.487 | 11.97 | 12.230 |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.011 | <LCM | <LCM |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | <LCM | <LCM | 0.004 |
| Sodio (Na) | mg/L | 25.84 | 13.06 | 11.09 |
| Niquel (Ni) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.188 | 0.063 | 0.069 |
| Plomo (Pb) | mg/L | <LCM | <LCM | 0.004 |
| Azufre (S) | mg/L | 8.677 | 27.39 | 22.90 |
| Antimonio (Sb) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Selenio (Se) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Silicio (Si) | mg/L | 8.04 | 6.711 | 7.374 |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.609 | 0.755 | 0.820 |
| Titanio (Ti) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Talio (Tl) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Uranio (U) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.004 | 0.009 | <LCM |
| Zinc (Zn) | mg/L | <LCM | <LCM | <LCM |
| Conductividad | µS/cm | 648 | 714 | 685 |
| Turbiedad | UNT | 14.2 | 2.21 | 2.27 |
| Alcalinidad total | mg/L | 333.2 | 346.92 | 331.24 |
| Cloruro | mg/L | 20.01 | 19.6 | 25.62 |
| Nitrito | mg/L | 0.13 | 0.22 | 0.06 |
| Nitrato | mg/L | 1.86 | 0.12 | 1.08 |
| Fósforo total | mg/L | 1.86 | 0.12 | 1.08 |
| Dureza total | mg/L | 216.17 | 317.12 | 282.83 |
| Sulfato | mg/L | 20 | 78 | 26 |
| pH | Unidad de pH | 7.86 | 7.52 | 7.85 |
| OD | mg/L | 4.97 | 4.56 | 4.72 |
| TDS | ppm | 482 | 458 | 483 |
| Sal | ppt | 0.34 | 0.36 | 0.34 |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes totales | NMP/100mL | 920 | 16*100 | 210 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100mL | 7.8 | 49 | <1.8 |
| LCM: Límite de cuantificación de método | | | | |

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Comparación de las concentraciones de parámetros en los puntos AS-01, AS-02 y AS-03 con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1:

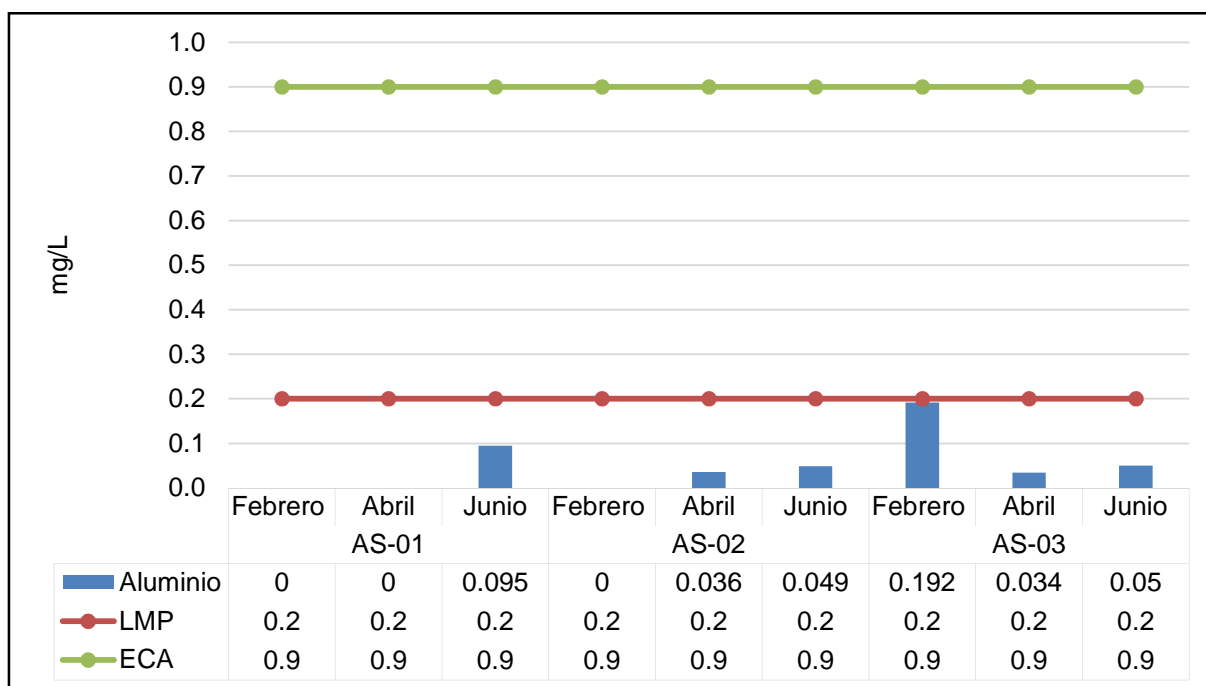


Figura 1: Concentración de aluminio

Figura 1: La concentración de aluminio en el punto AS-01 fue de 0, 0, 0.095 mg/L en los meses de febrero, abril y junio respectivamente, con una media de 0.032 mg/L, siendo el mes de junio que cuenta con mayor presencia de este metal. En el punto AS-02 los resultados fueron de 0, 0.036, 0.049 mg/L en las tres campañas respectivamente, con una media de 0.085 mg/L, siendo en el mes de junio donde hubo mayor concentración de aluminio. Finalmente en el punto AS-03 los resultados fueron 0.192, 0.034 y 0.05 en las tres campañas respectivamente, con una media de 0.092 mg/L, siendo el mes de febrero que cuenta con mayor concentración de este metal. Las concentraciones de aluminio de las muestras de agua obtenidas de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas no superan con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

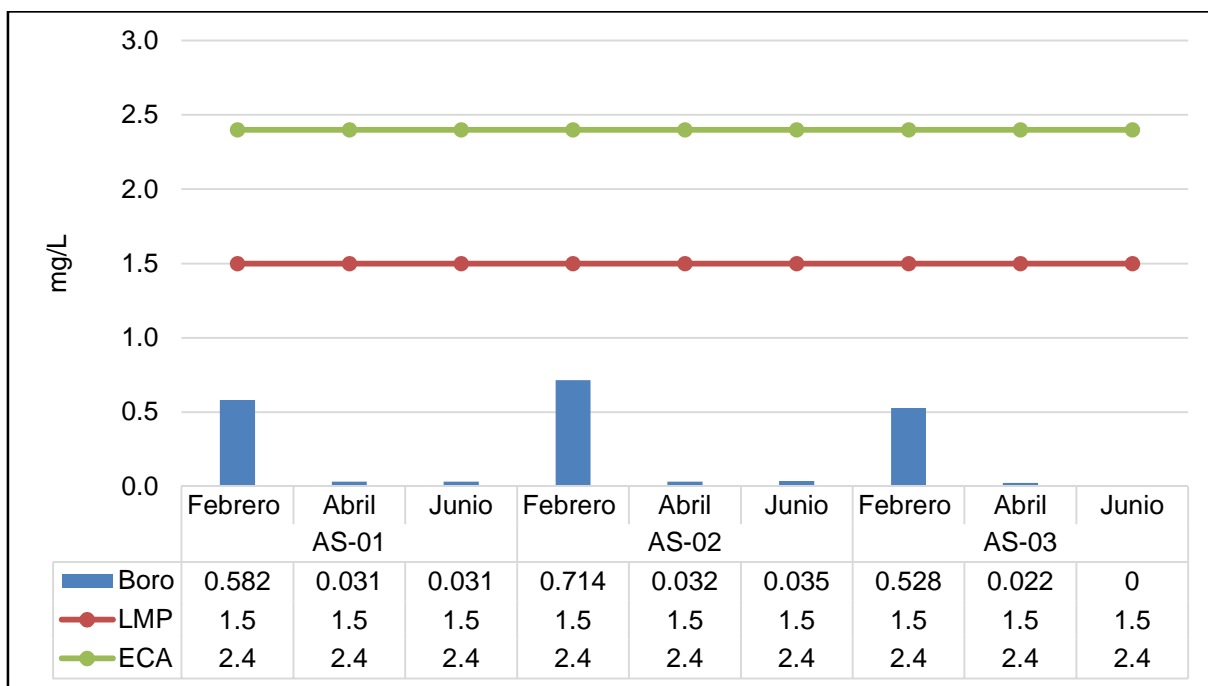


Figura 2: Concentración de boro

Figura 2: En cuanto a las concentraciones de boro, en el punto AS-01 fueron de 0.582, 0.031, 0.031 mg/L, con una media de 0.215 mg/L, siendo el mes de febrero el que cuenta con mayor concentración de este metal. En el punto AS-02 las concentraciones fueron de 0.714, 0.032 y 0.035 mg/L en las tres campañas respectivamente, con una media de 0.428 mg/L, siendo en el primer mes con mayor concentración de boro. Finalmente las concentraciones en el punto AS-03 de los tres diferentes meses respectivamente fueron de 0.528, 0.022 y 0 mg/L, con una media de 0.26 mg/L. Las concentraciones de boro de las muestras de agua obtenidas de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas no superan con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

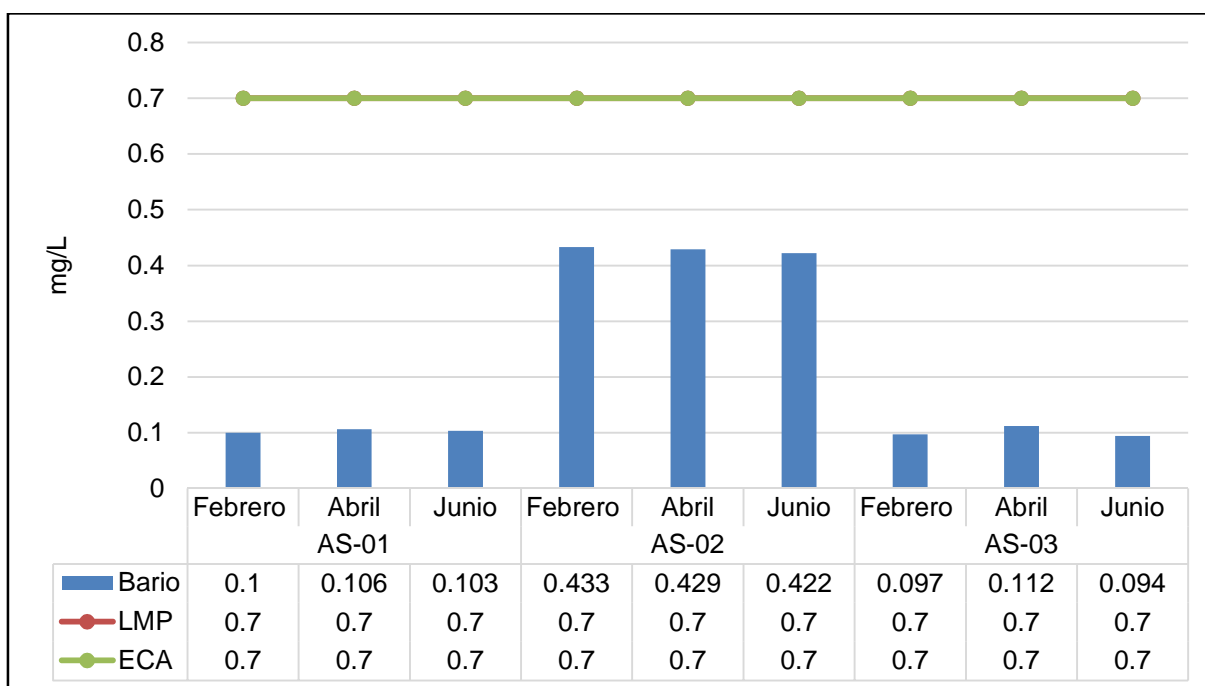


Figura 3: Concentración de bario

Figura 3: La concentración de bario en el punto AS-01 en los meses de febrero, abril y junio fueron de 0.1, 0.106, 0.103 mg/L respectivamente, donde la mayor concentración estuvo en el mes de abril. En el punto AS-02 las concentraciones fueron de 0.433, 0.429, 0.422 mg/L en los tres diferentes meses respectivamente, con una media de 0.428 mg/L, donde en el mes de febrero hubo mayor presencia de este metal. Finalmente en el punto AS-03 las concentraciones de bario en las tres campañas respectivamente fueron de 0.097, 0.112, 0.094 mg/L, con una media de 0.183 mg/L, donde el mes de abril cuenta con mayor presencia de bario. Las concentraciones de bario de las muestras de agua obtenidas de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas no superan con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

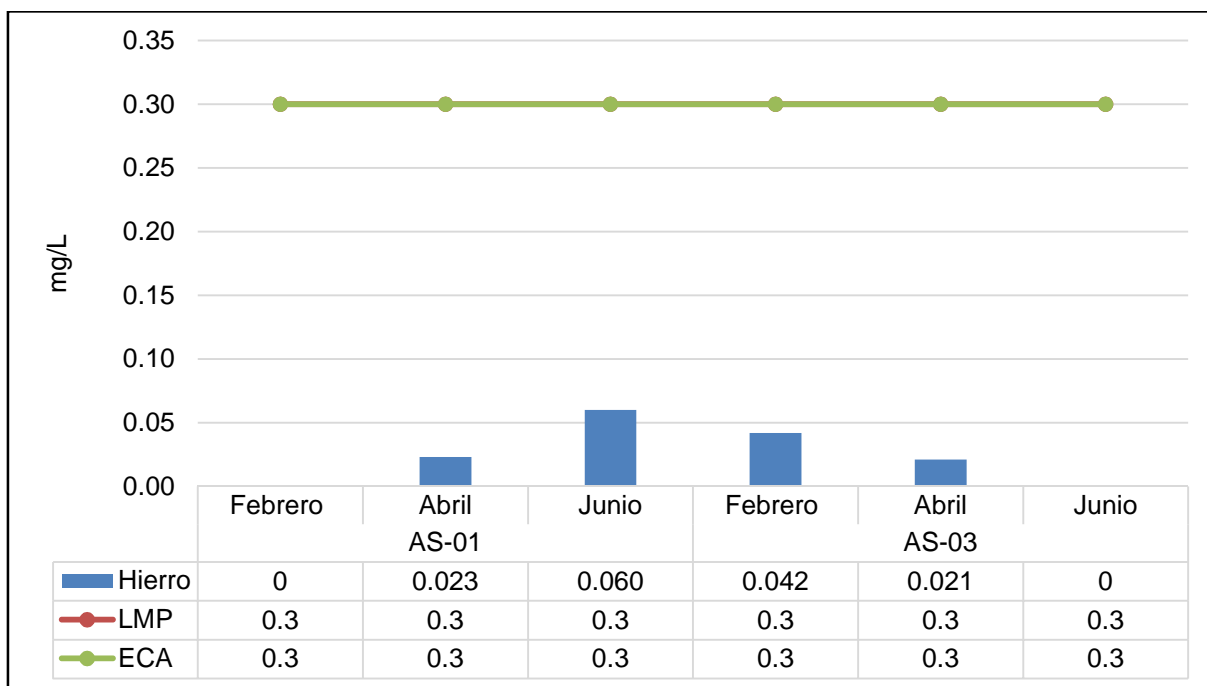


Figura 4: Concentración de hierro

Figura 4: Solo se encontró hierro en el primer y tercer punto. Las concentraciones en los meses de febrero, abril y junio en el punto AS-01 fueron de 0, 0.023 y 0.060 mg/L respectivamente, con una media de 0.028 mg/L, siendo el mes de junio el que cuenta con mayor concentración de hierro. En el punto AS-03 las concentraciones fueron 0.042, 0.021 y 0 mg/L en las dos campañas respectivamente, con una media de 0.021 mg/L, siendo el mes de febrero el que cuenta con mayor concentración de hierro. Las concentraciones de este parámetro de las muestras de agua obtenidas de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas no superan con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

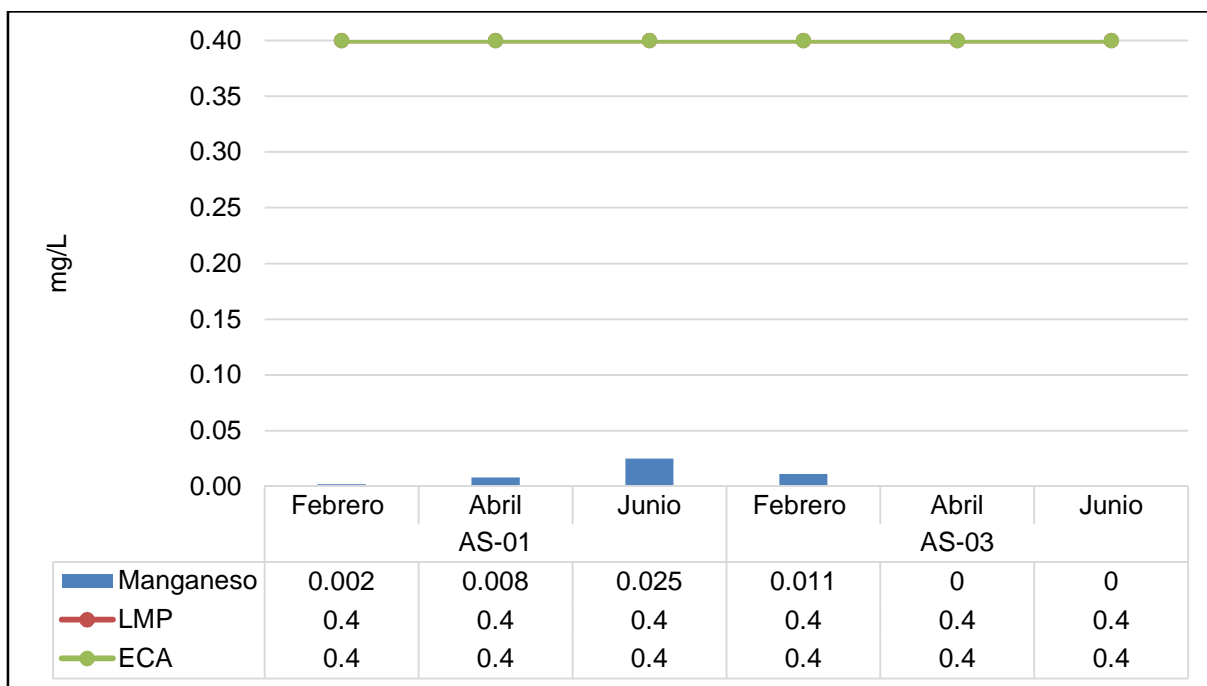


Figura 5: Concentración de manganeso

Figura 5: Concentraciones de manganeso solo se encontraron en el primer y tercer punto. En el punto AS-01 las concentraciones para los meses de febrero, abril y junio fueron de 0.002, 0.008 y 0.025 mg/L, con una media de 0.012 mg/L, donde en el mes de junio hubo mayor presencia de este mineral. En el punto AS-03 las concentraciones en las tres campañas respectivamente fueron de 0.011, 0 y 0 mg/L, siendo el mes de febrero donde hay mayor concentración. Las concentraciones de manganeso de las muestras de agua obtenidas de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas no superan con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

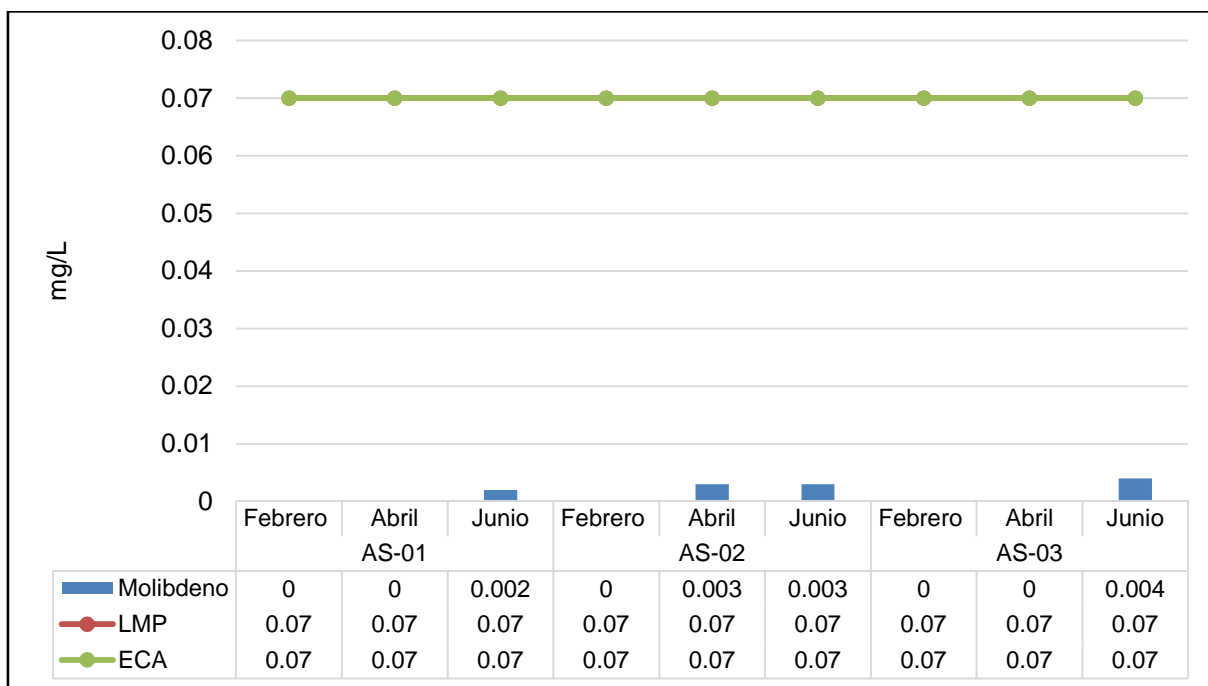


Figura 6: Concentración de molibdeno

Figura 6: Las concentraciones de molibdeno en los meses de febrero, abril y junio para el punto AS-01 fueron de 0, 0 y 0.002 mg/L respectivamente, con una media de 0.0007 mg/L y hubo mayor concentración en el mes de junio. En el punto AS-02 las concentraciones en cada mes de muestreo respectivamente fueron de 0, 0.003 y 0.003 mg/L, con una media de 0.002 mg/L. Finalmente en el punto AS-03 las concentraciones mensuales fueron 0, 0, 0.004 mg/L, con una media de 0.0013 mg/L, con mayor concentración en el mes de junio. Ninguna muestra de agua obtenida en los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

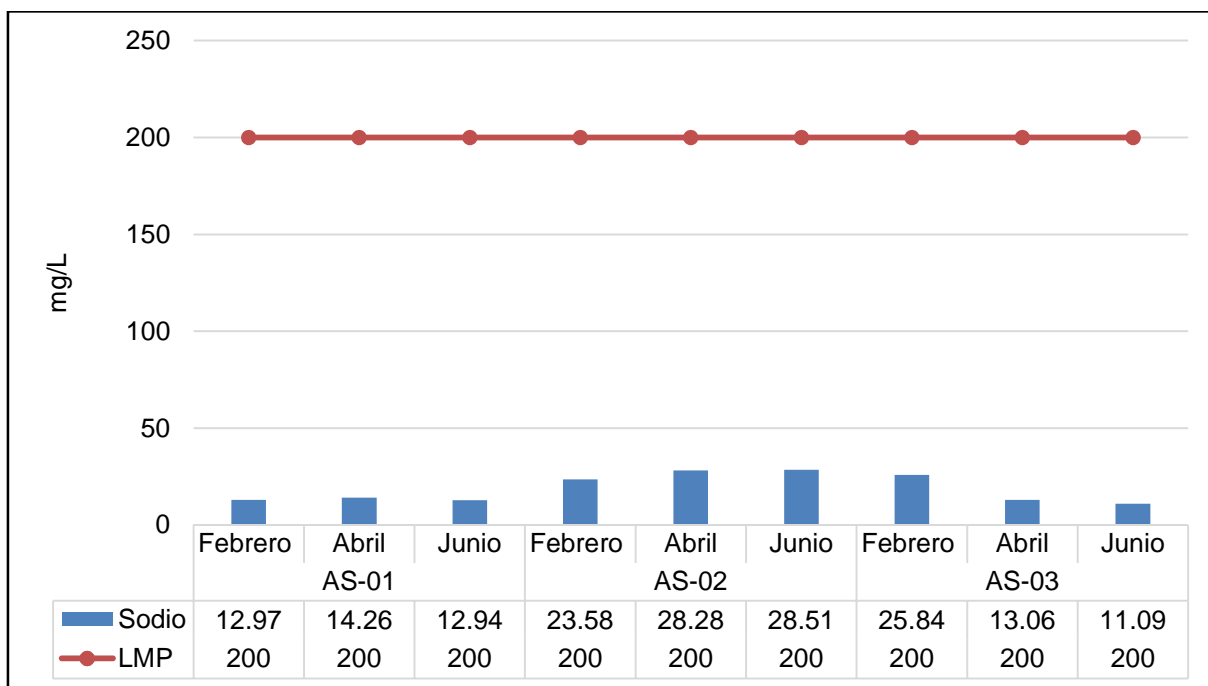


Figura 7: Concentración de sodio

Figura 7: Las concentraciones de sodio en los meses de febrero, abril y junio en el punto AS-01 fueron de 12.97, 14.26 y 12.94 mg/L, con una media de 13.39 mg/L, donde hubo mayor presencia de este elemento en el mes de abril. En el punto AS-02 las concentraciones en los tres meses respectivamente fueron 23.58, 28.28 y 28.51 mg/L, con una media de 26.79 mg/L, donde hubo mayor concentración en el mes de junio. Finalmente en el punto AS-03 las concentraciones mensuales respectivamente fueron 25.84, 13.06 y 11.09 mg/L, con una media de 16.66 mg/L, donde hubo mayor concentración en el mes de febrero. Ningún muestreo en las diferentes fechas superan los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

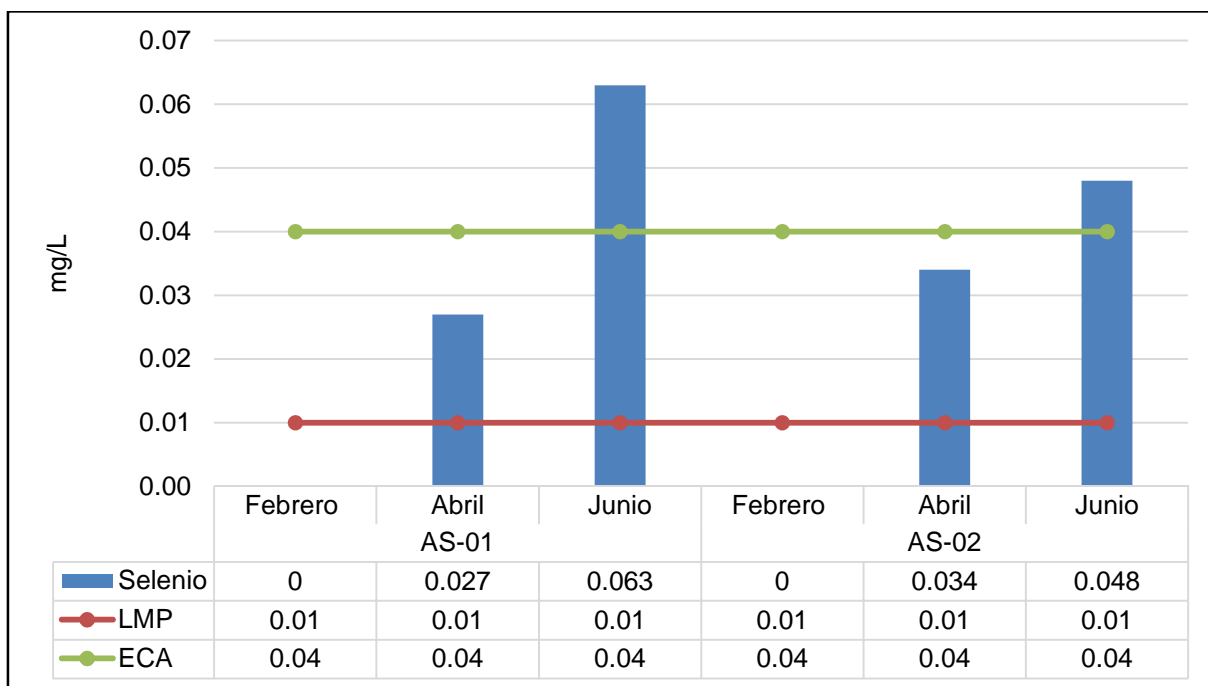


Figura 8: Concentración de selenio

Figura 8: Por otro lado, solo se encontró selenio en el primer y segundo punto. Las concentraciones en el punto AS-01 fueron 0, 0.027 y 0.063 mg/L, con una media de 0.03 mg/L, donde hubo mayor concentración en el mes de junio; la concentración en el mes de abril supera los límites máximos permisibles, mientras que en el mes de junio se superan los límites y estándares de calidad ambiental. En el punto AS-02 las concentraciones en cada meses respectivamente fueron 0, 0.0034 y 0.048 mg/L, con una media de 0.027 mg/L, donde se observa mayor presencia de este elemento en el mes de junio; en el mes de abril se supera los límites máximos permisibles establecidos por el reglamento de calidad de agua para consumo, mientras que en el mes de junio se supera los límites y los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S 004-2017-MINAM.

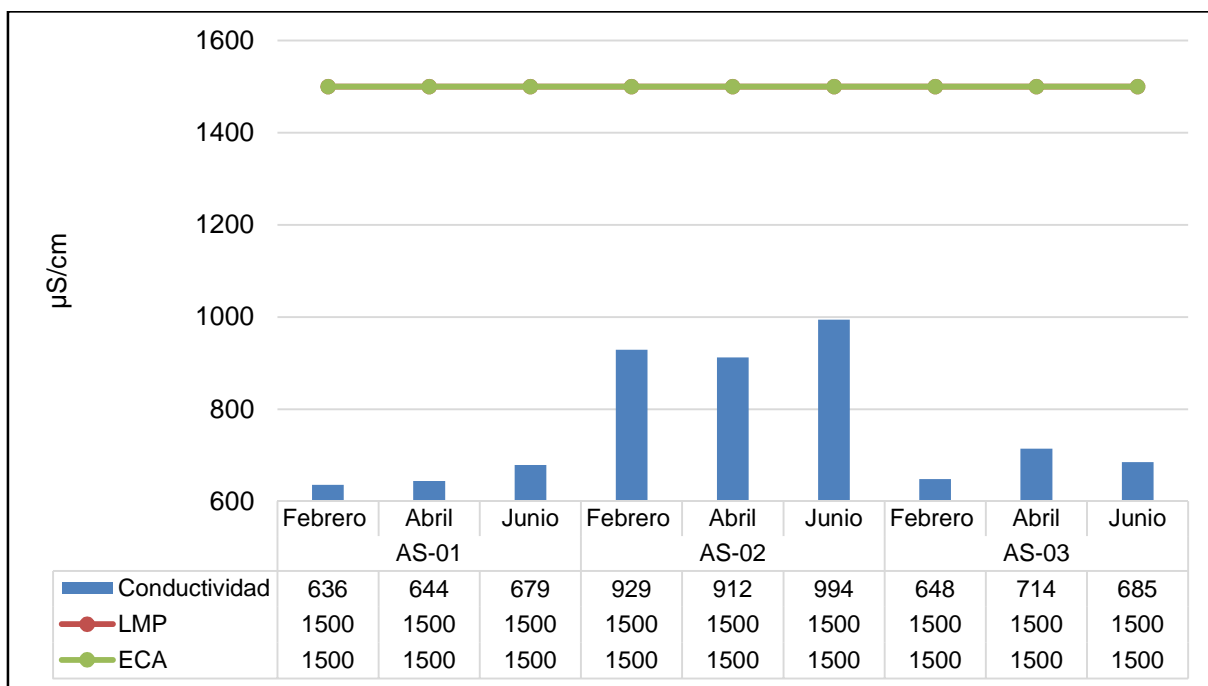


Figura 9: Conductividad

Figura 9: La conductividad en los meses de febrero, abril y junio en el punto AS-01 fue de 636, 644 y 679 $\mu\text{S/cm}$, con una media de 653 $\mu\text{S/cm}$, donde en el mes de junio hubo mayor conductividad. En el punto AS-02 la conductividad en los tres meses de muestreo respectivamente fue de 929, 912 y 994 $\mu\text{S/cm}$, con una media de 945 $\mu\text{S/cm}$, donde hubo mayor conductividad en el mes de junio. Finalmente en el punto AS-03, la conductividad fue de 648, 714 y 685 $\mu\text{S/cm}$, con una media de 682.3 $\mu\text{S/cm}$, donde en el mes de abril hubo mayor conductividad. Ninguna muestra de agua obtenida en los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

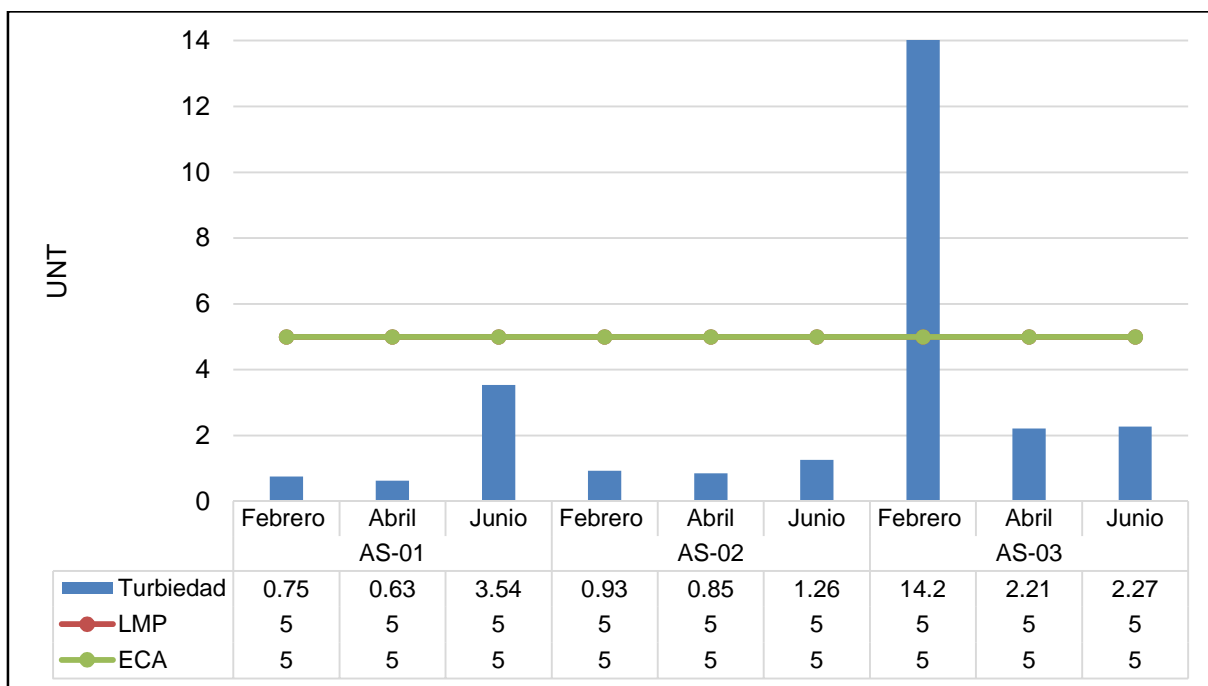


Figura 10: Turbiedad

Figura 10: La turbiedad en los meses de febrero, abril y junio en el punto AS-01 fue de 0.75, 0.63 y 3.54 UNT respectivamente, con una media de 1.64 UNT, donde el mes de junio hubo mayor turbiedad. En el punto AS-02 la turbiedad en los diferentes meses respectivamente fue de 0.96, 0.85 y 1.26 UNT, con una media de 1.01 UNT y en el mes de junio la turbiedad fue mayor. Finalmente en el punto AS-03 la turbiedad fue de 14.2, 2.21 y 2.27 UNT, con una media de 6.27 UNT, donde en febrero hubo mayor turbiedad y es el mes donde se supera los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental. Por otro lado, los demás resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad peruana.

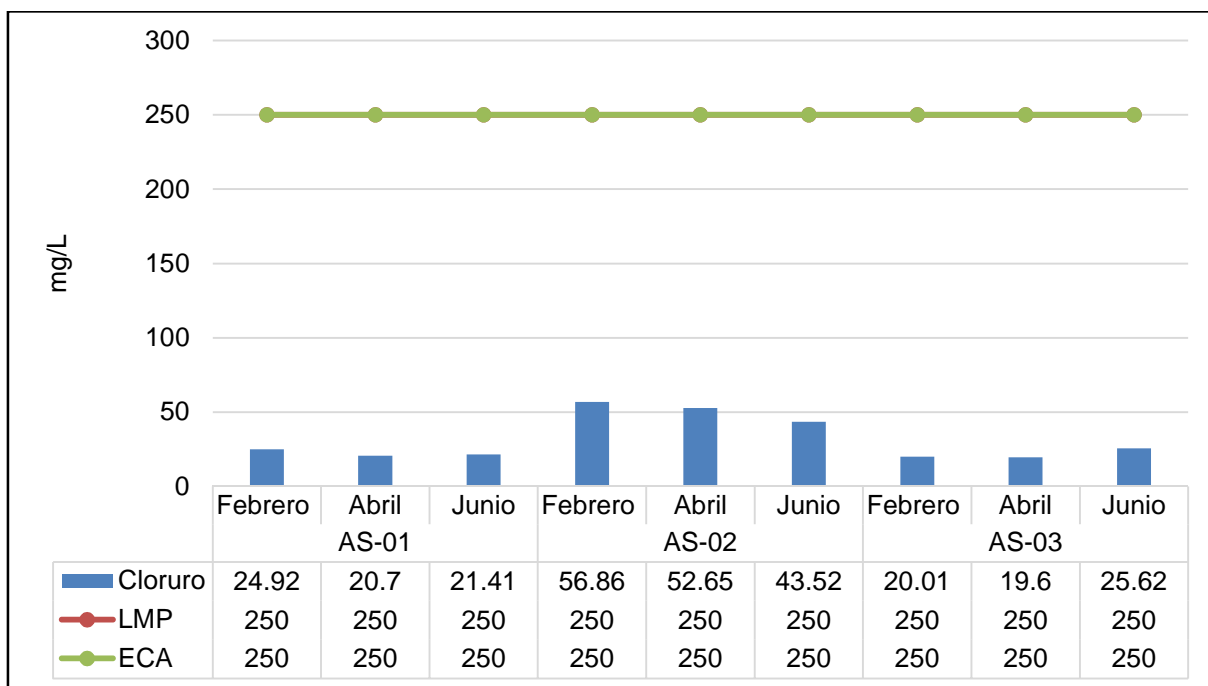


Figura 11: Concentración de cloruro

Figura 11: La concentración de cloruro en los meses de febrero, abril y junio para el punto AS-01 fue de 24.92, 20.7 y 21.41 mg/L respectivamente, con una media de 22.34 mg/L, donde en el mes de febrero hubo mayor concentración de cloruro. En el punto AS-02 las concentraciones por cada mes respectivamente fueron de 56.86, 52.65, 43.52 mg/L, con una media de 102.02 mg/L, donde en el mes de febrero se observa mayor concentración de este elemento. Finalmente para el punto AS-03 los resultados en los tres meses respectivamente fueron de 20.01, 16.6, 25.62 mg/L, con una media de 20.74 mg/L y se observa que en el mes de junio es donde hay mayor concentración. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

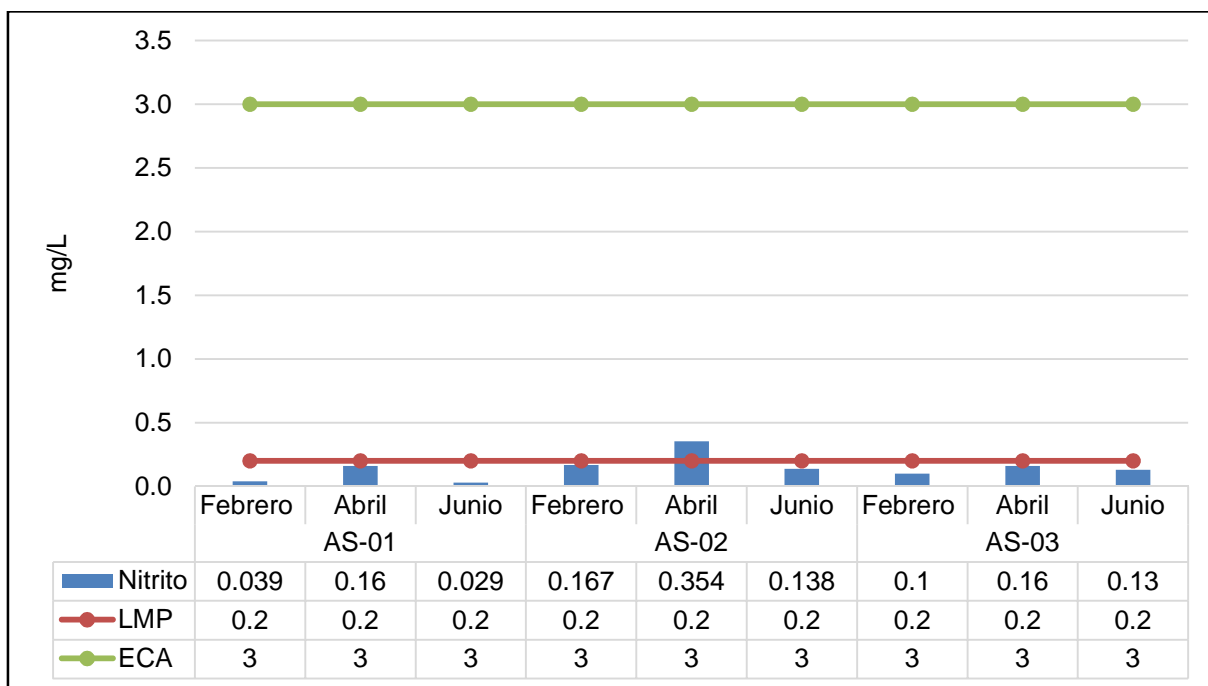


Figura 12: Concentración de nitritos

Figura 12: En cuanto la concentración de nitritos para los meses de febrero, abril y junio fue de 0.039, 0.316, 0.029 mg/L, con una media de 0.152 mg/L, donde hubo mayor concentración en el mes de abril. En el punto AS-02 los resultados para los tres puntos de muestreo respectivamente fueron 0.167, 0.354, 0.138 mg/L, con una media de 0.22 mg/L, donde se observa mayor concentración en el mes de abril, el cual supera los límites máximos permisibles mas no los estándares de calidad ambiental. Finalmente en el punto AS-03, los resultados mensuales respectivamente fueron de 0.1, 0.16 y 0.13 mg/L, con una media de 0.13 mg/L, donde hay mayor presencia de este elemento en el mes de abril. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas, a excepción del mes de abril en punto AS-02, superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

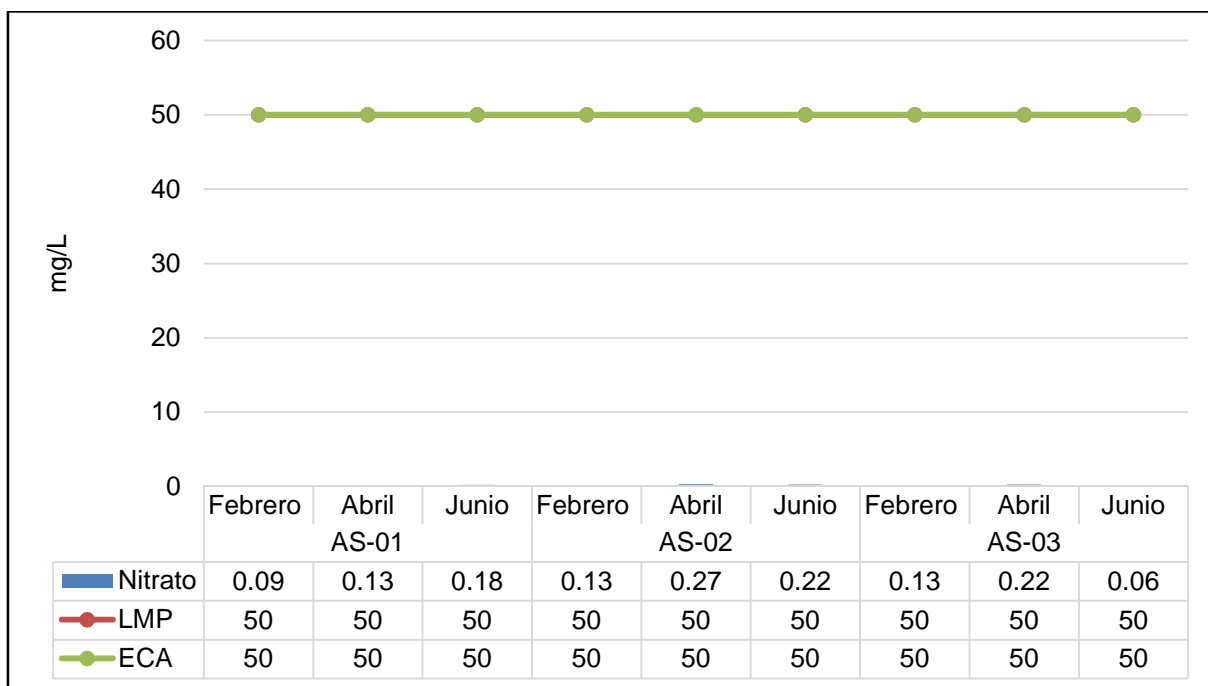


Figura 13: Concentración de nitratos

Figura 13: Las concentraciones de nitratos en los meses de febrero, abril y junio para el punto AS-01 fueron de 0.09, 0.13, 0.18 mg/L, con una media de 0.13 mg/L, donde en el mes de junio hay mayor presencia de este elemento. En el punto AS-02, las concentraciones por mes respectivamente fueron de 0.13, 0.27, 0.22 mg/L, con una media de 0.21 mg/L y en el mes abril es donde hay mayor concentración. Finalmente en el punto AS-03, las concentraciones mensuales respectivamente fueron de 0.13, 0.22 y 0.06 mg/L, con una media de 0.14 mg/L, donde en el mes de abril hubo mayor concentración de este elemento. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

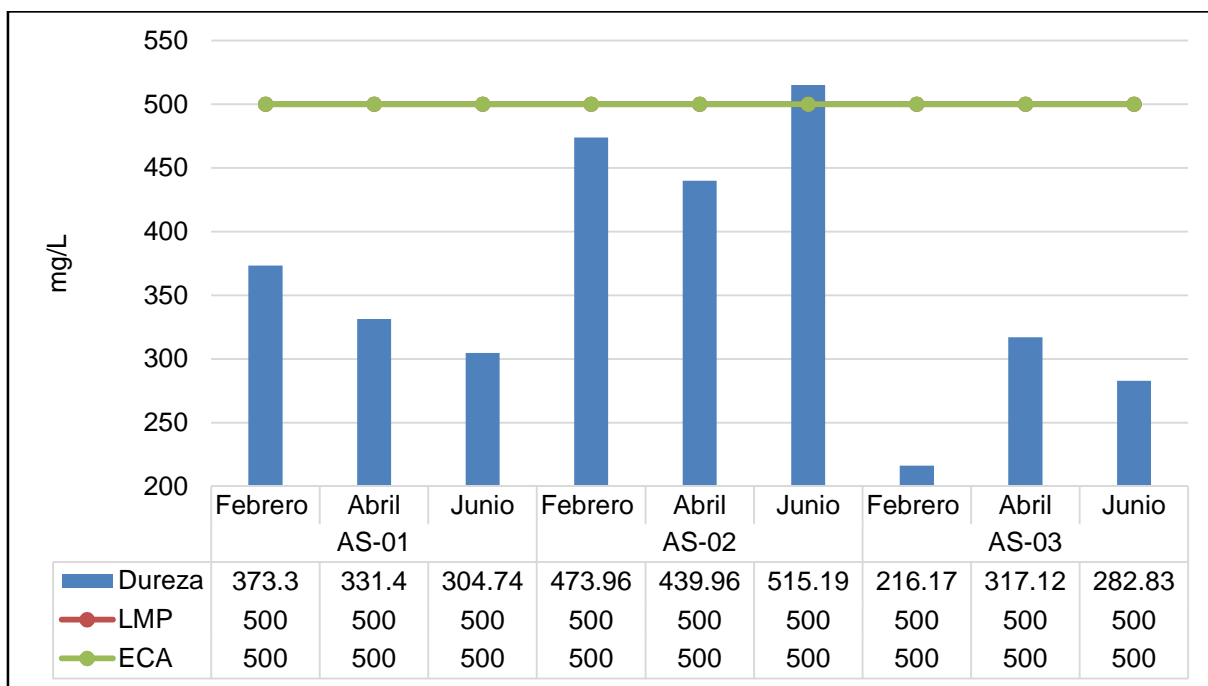


Figura 14: Dureza total

Figura 14: La dureza en los meses de febrero, abril y junio en el punto AS-01 fue de 373.3, 331.4, 304.74 mg/L, con una media de 336.48 mg/L, donde se observa mayor concentración en el mes de febrero. En el punto AS-02, la dureza en los tres meses respectivamente fue de 473.96, 439.96, 515.19 mg/L, con una media de 476.37 mg/L, donde en el mes junio hay mayor dureza y supera los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental. Finalmente en el punto AS-03 la dureza fue de 216.17, 317.12 y 282.83 mg/L, con una media de 272.04 mg/L, donde en el mes de abril es donde hubo mayor dureza. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas, a excepción del mes de junio en el punto AS-02, superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

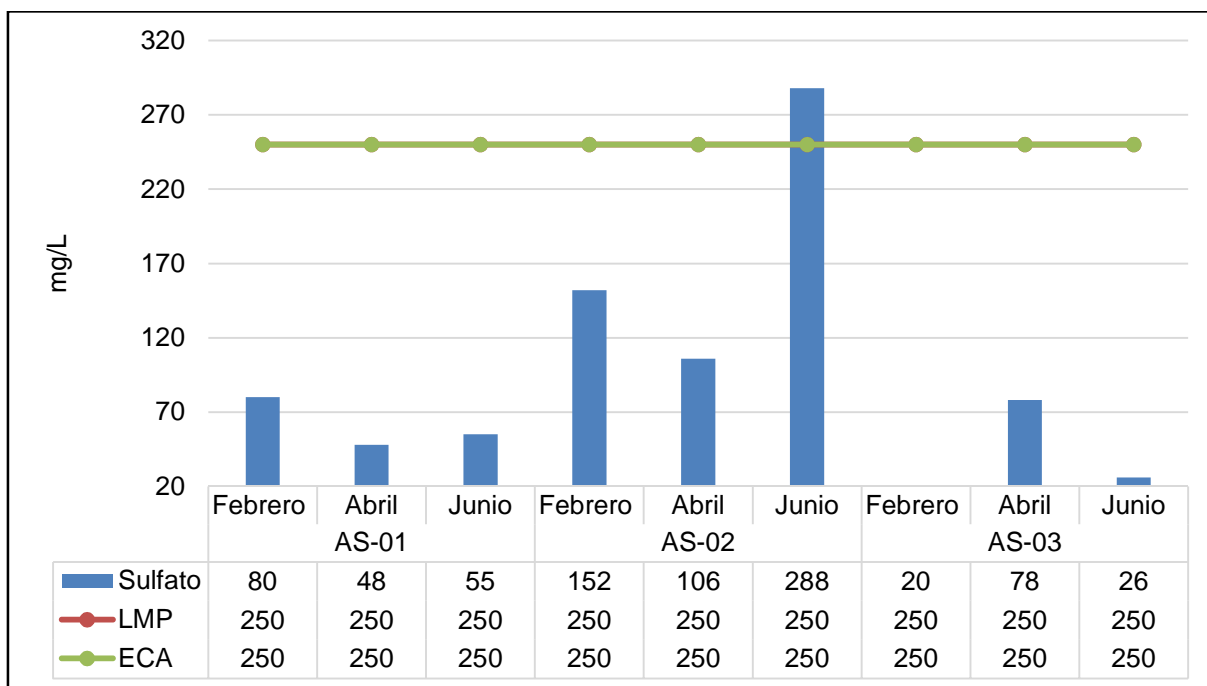


Figura 15: Concentración de sulfatos

Figura 15: Por otro lado, la concentración de sulfatos en los meses de febrero, abril y junio fueron de 80, 48 y 55 mg/L, con una media de 61 mg/L, donde se observa mayor concentración en el mes de febrero. En el punto AS-02 los resultados en cada campaña de muestreo respectivamente fueron de 152, 106 y 288 mg/L, con una media de 182 mg/L, donde hay mayor concentración en el mes de junio, el cual supera los estándares de calidad subcategoría A1 y los límites máximos permisibles. Finalmente las concentraciones en el punto AS-03 fueron 20, 78 y 26 mg/L, con una media de 41.3 mg/L, donde hay mayor presencia de este elemento en el mes de abril. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas, a excepción del mes de abril del punto AS.03, superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

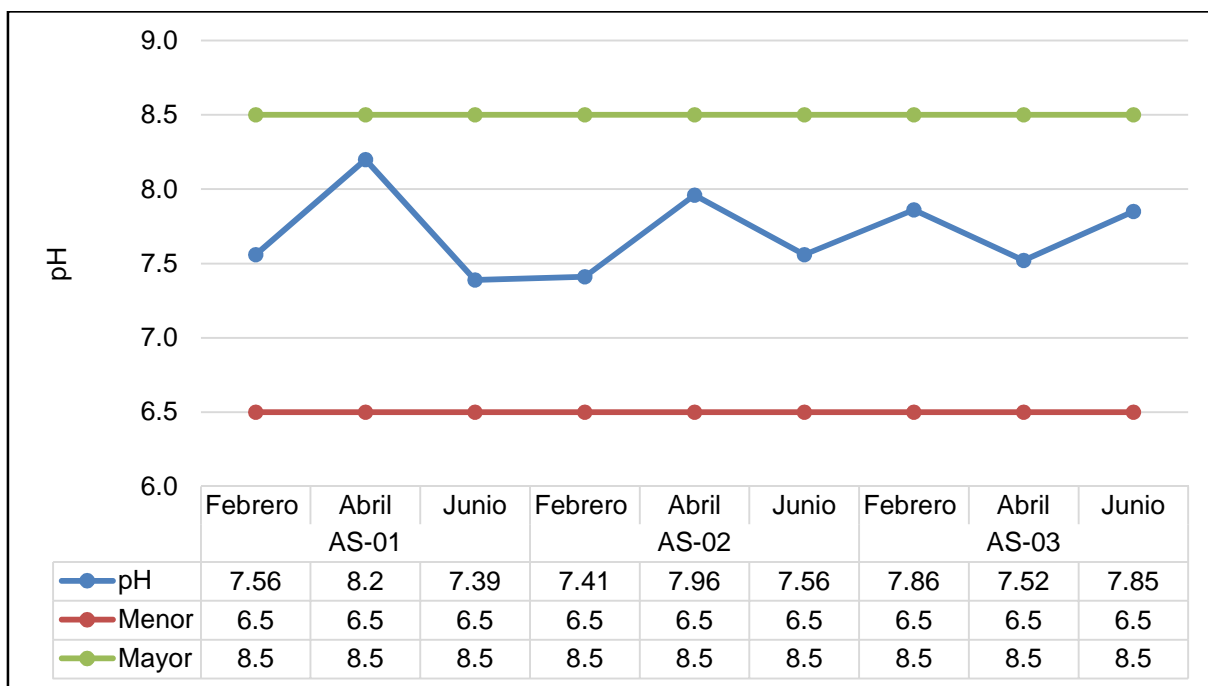


Figura 16: pH

Figura 16: El pH recolectado de las muestras tomadas en los meses de febrero, abril y junio fueron; para el punto AS-01 7.56, 8.2 y 7.39, con una media de 7.72, donde hay mayor pH en el mes de abril. Para el punto AS-02 el pH en los tres meses respectivamente fueron de 7.41, 7.96 y 7.56, con una media de 7.64, donde mayor pH se dio en el mes de abril. Para el punto AS-03 el pH de cada mes de muestreo respectivamente fue de 7.86, 7.52 y 7.85, con una media de 7.74, donde mayor pH hubo en el mes de febrero. Ninguna muestra de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, ni los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

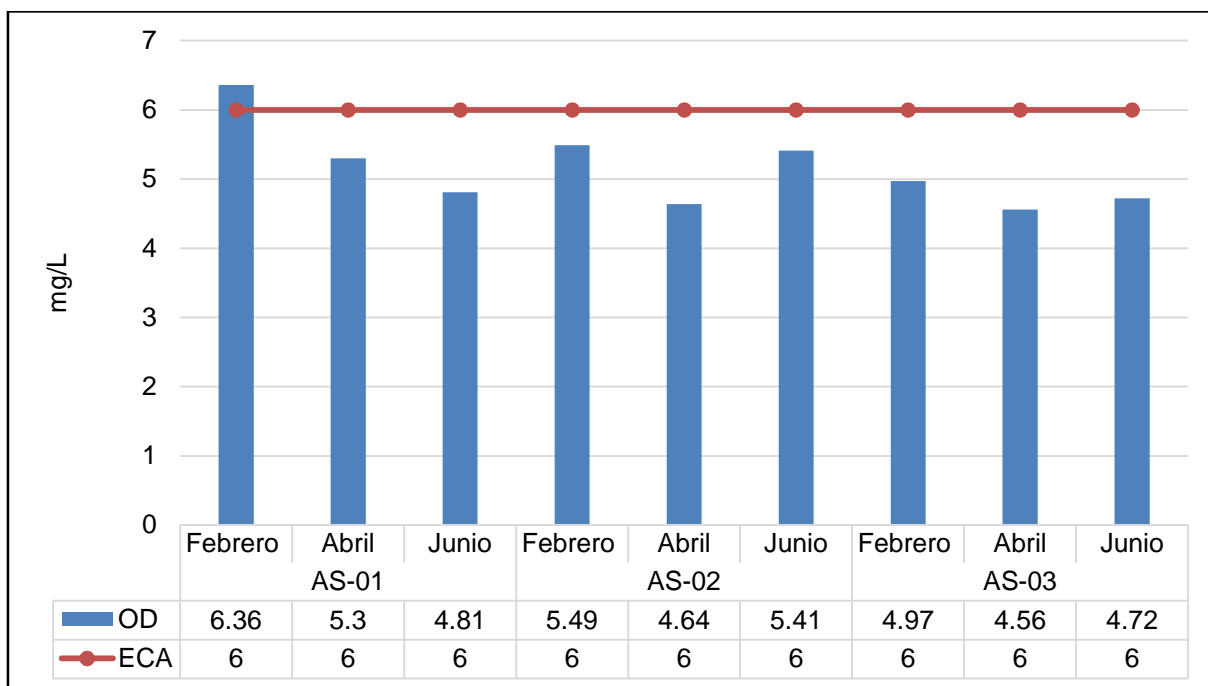


Figura 17: Oxígeno disuelto

Figura 17: El oxígeno disuelto obtenido en los meses de febrero, abril y junio para el punto AS-01 fue de 6.36, 5.5 y 4.81 mg/L, con una media de 5.49 mg/L, donde el mes de febrero es el que hay mayor OD y la única campaña de muestreo que cumple con los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 que establece un valor aceptable de 6. En el punto AS-02, el oxígeno disuelto en cada mes respectivamente fue de 5.49, 4.64 y 5.41 mg/L, con una media de 5.18 mg/L, donde hay mayor OD en el mes de febrero, sin embargo en ninguna campaña se cumple con el valor aceptable establecido por los estándares de calidad ambiental subcategoría A1. Finalmente en el punto AS-03, el oxígeno disuelto en los tres meses de muestreo respectivamente fue de 4.97, 4.56 y 4.72 mg/L, con una media de 4.75 mg/L, donde hay mayor OD en el mes de febrero, pero ningún resultado se encuentra dentro del valor aceptable 6.

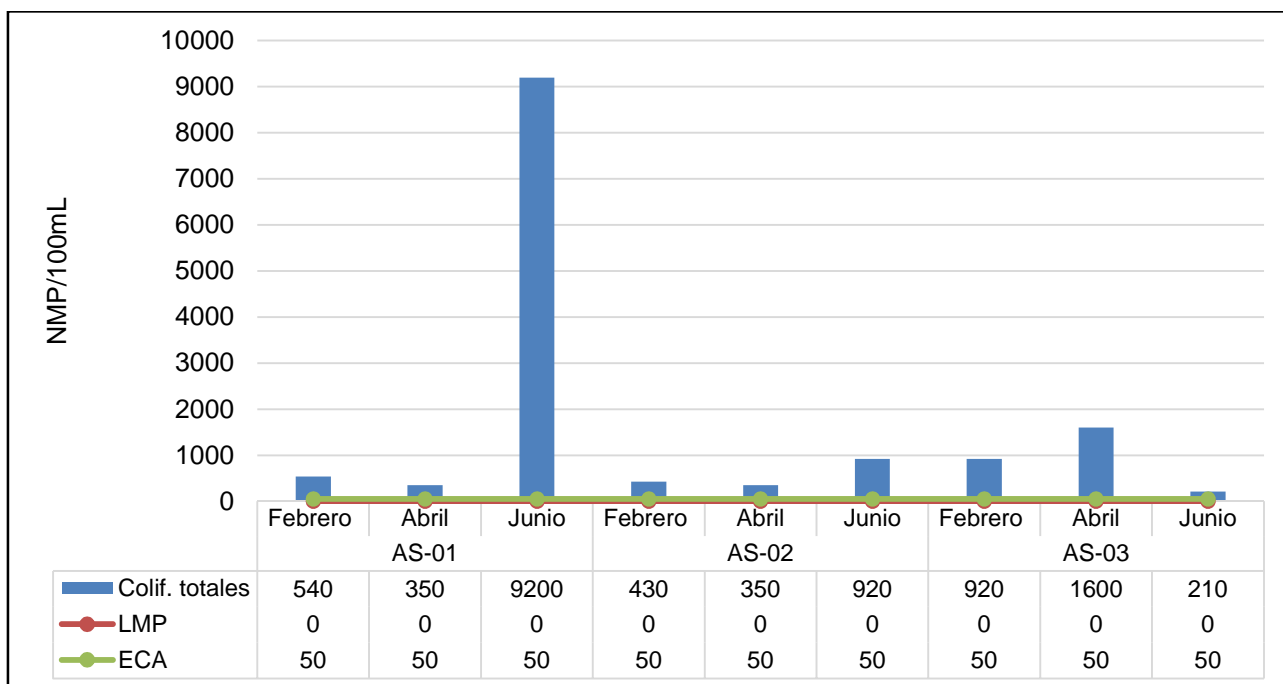


Figura 18: Concentración de coliformes totales

Figura 18: En cuanto a la concentración de coliformes totales de las muestras realizadas en los meses de febrero, abril y junio fueron de 540, 350 y 9200 NMP/100mL para el punto AS-01, con una media de 3363.3 NMP/100mL, donde hubo mayor concentración en el mes de junio. Los resultados en el punto AS-02 de acuerdo a los meses de muestreo respectivamente fueron 430, 350 y 920 NMP/100mL, con una media de 566.7 NMP/100mL, donde en el mes de junio se encontró mayor concentración de estos microorganismos. Finalmente para el punto AS-03 los resultados en los meses muestreados respectivamente fueron 920, 1600 y 210 NMP/100mL, con una media de 910 NMP/100mL y en el mes de abril es donde hubo mayor concentración. Todas las muestras de los tres puntos de muestreo en las tres diferentes campañas superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 de acuerdo al D.S N° 004-2017-MINAM.

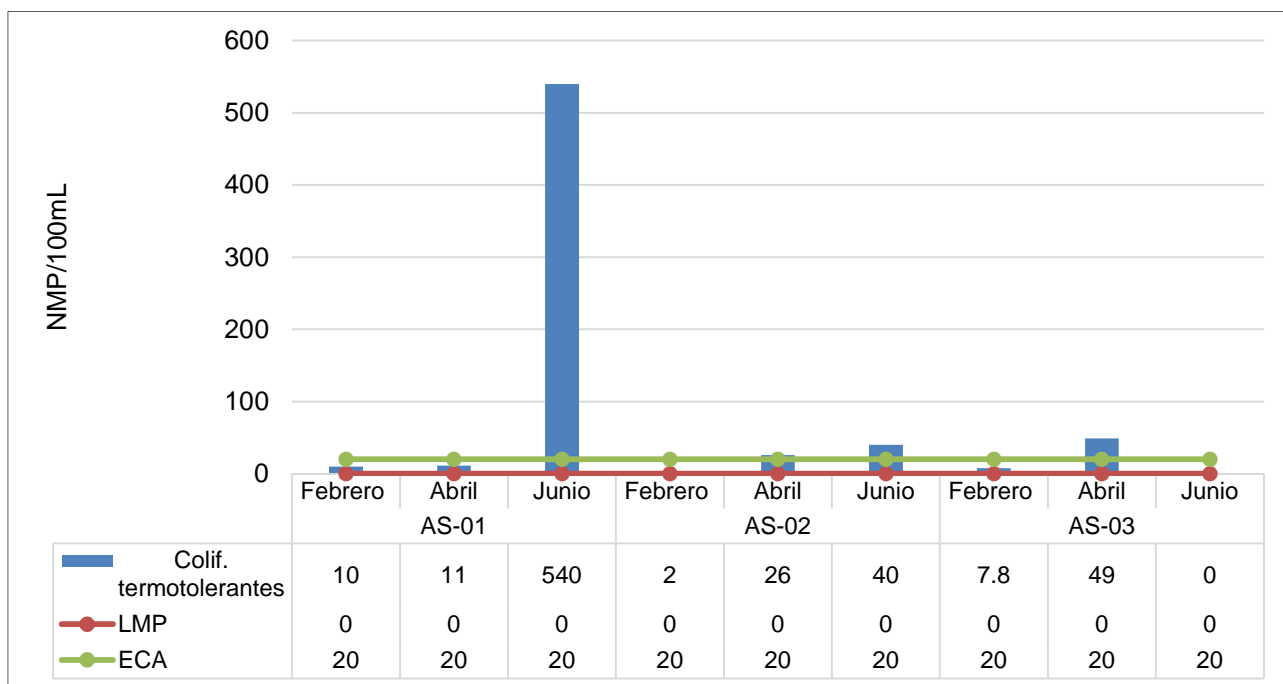


Figura 19: Concentración de coliformes termotolerantes

Figura 19: La concentración de coliformes termotolerantes en los meses de febrero, abril y junio para el punto AS-01 fue de 10, 11 y 540 NMP/100mL respectivamente, con una media de 187 NMP/100mL, donde se la mayor concentración de encontró en el mes de junio, que supera los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1, mientras que en los meses de febrero y abril solo superan los límites máximos permisibles. Por otro lado en el punto AS-02 las concentraciones mensuales respectivamente fueron 2, 26 y 40 NMP/mL, con una media de 22.7 NMP/100mL y en el mes de junio es donde hubo mayor concentración, además de superar los LMP y los ECA subcategoría A1, en el mes de abril también se supera ambas normatividades y en el mes de febrero solo se superan los LMP. Finalmente en el punto AS-03 los resultados fueron 7.8, 49 y 0 NMP/100mL, con una media de 18.9 NMP/100mL, donde en el mes de abril hubo mayor concentración y supera los LMP y ECA subcategoría A1, en el mes de febrero solo se supera los LMP y en el mes de junio se cumple con ambas normatividades.

5.2. Clasificación de dureza en el agua:

La clasificación del agua según la dureza que presenta se determinará haciendo uso de la tabla establecida por la OMS.

Tabla 15:
Clasificación de dureza según la organización mundial de salud

| CaCO ₃ (mg/L) | Tipo de Agua |
|--------------------------|--------------------|
| 0 – 60 | Blanda |
| 61 – 120 | Moderadamente dura |
| 121 – 180 | Dura |
| >180 | Muy dura |

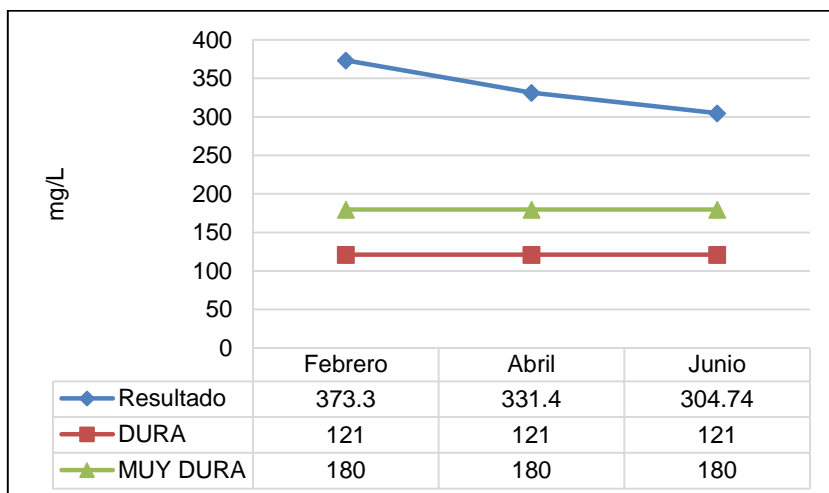


Figura 20: Clasificación de dureza en el punto AS-01

Figura 20: Se observa que los resultados de dureza obtenidos en los meses de febrero, abril y junio fueron de 373.3, 331.4 y 304.74 mg/L respectivamente, todos los resultados reflejan que el agua es de clasificación muy dura, ya que los valores son mayores a 180 mg/L que es el valor establecido por la clasificación.

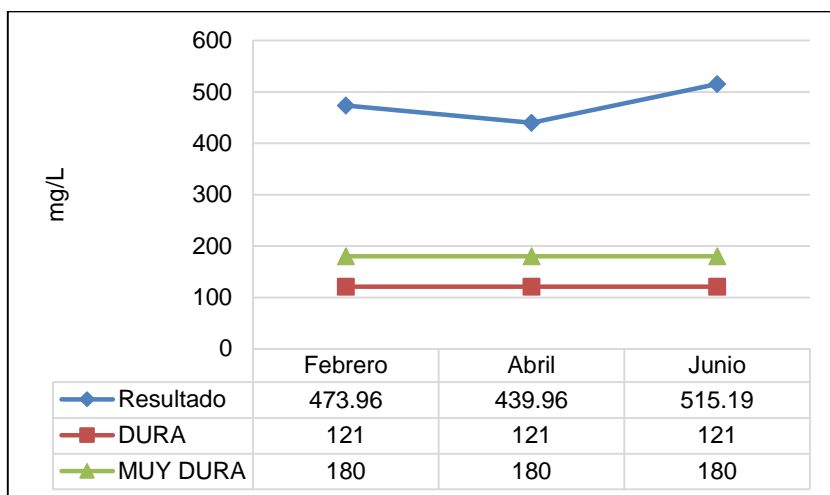


Figura 21: Clasificación de dureza en el punto AS-02

Figura 21: Los resultados de dureza obtenidos en los meses de febrero, abril y junio fueron de 473.96, 439.96 y 515.19 mg/L respectivamente, todos los resultados reflejan que el agua es de clasificación muy dura, ya que los valores son mayores a 180 mg/L que es el valor establecido por la clasificación.

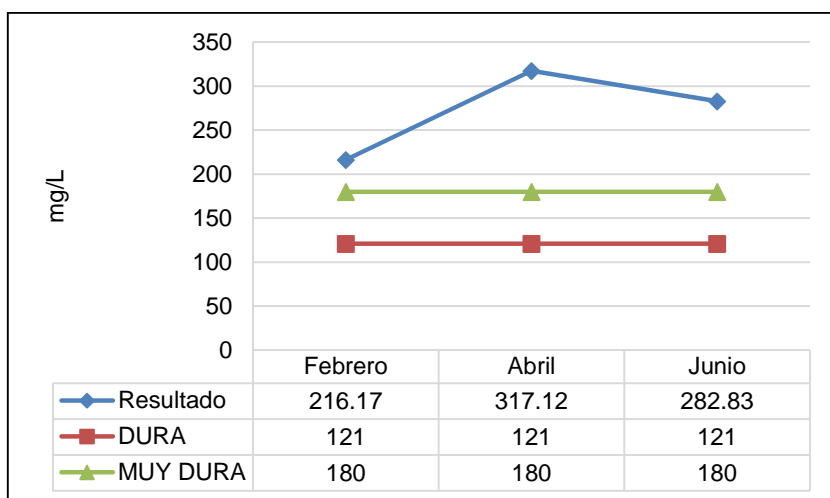


Figura 22: Clasificación de la dureza en el punto AS-03

Figura 22: Se observa que los resultados de dureza obtenidos en los meses de febrero, abril y junio fueron de 216.17, 317.12 y 282.83 mg/L respectivamente, todos los resultados reflejan que el agua es de clasificación muy dura, ya que los valores son mayores a 180 mg/L que es el valor establecido por la clasificación.

5.3. Relación entra profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes:

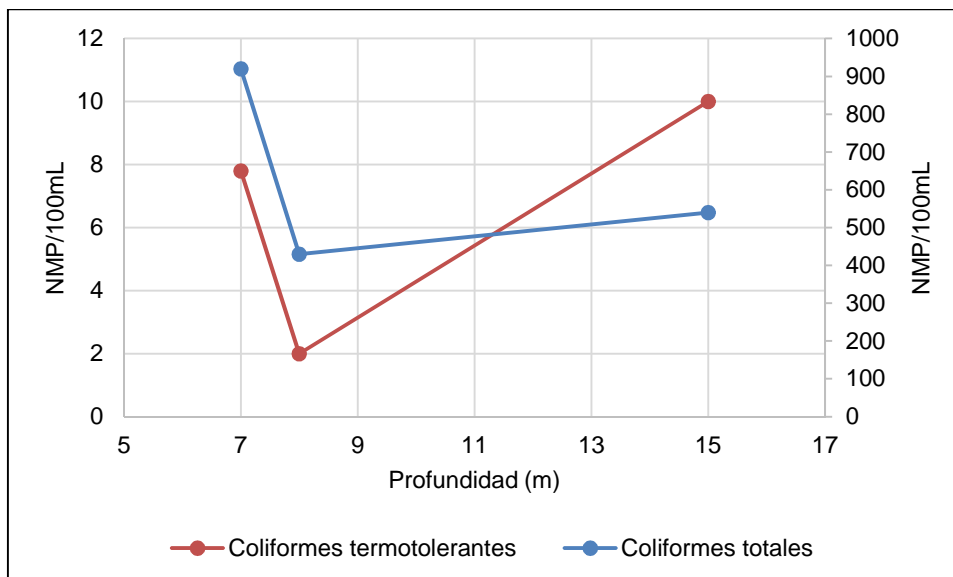


Figura 23: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de febrero

Figura 23: Se muestra que en el pozo que tiene una profundidad de 7 m la presencia de coliformes es mayor a comparación al pozo de 8 m, donde a mayor es la profundidad la presencia de coliformes es menor. Sin embargo, en el pozo con 15 m de profundidad hubo una variación de concentraciones, ya que la concentraciones de coliformes debieron ser menores a comparación del pozo de 8m; la razón puede deberse a una posible contaminación externa.

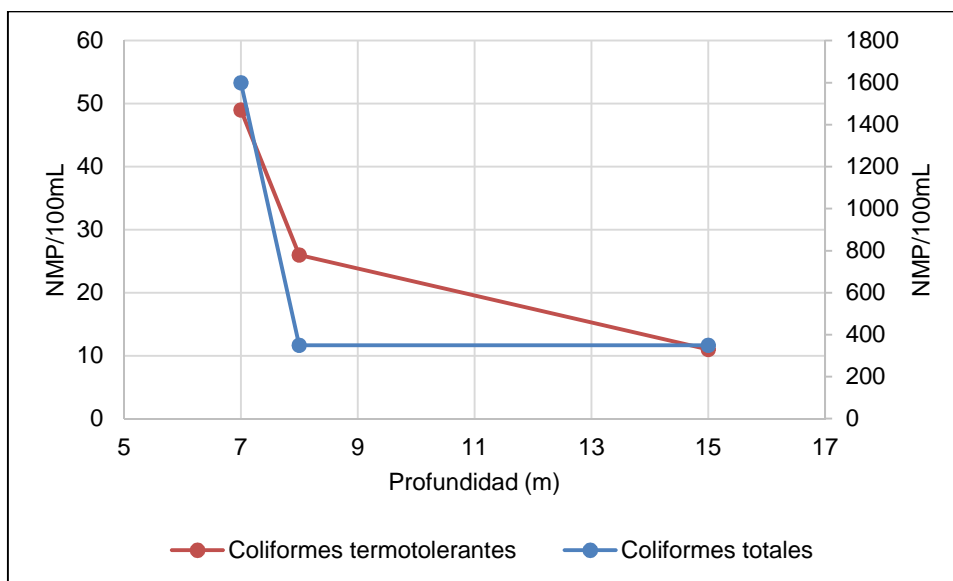


Figura 24: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de abril

Figura 24: El pozo que tiene una profundidad de 7 m la presencia de coliformes es mayor a comparación al pozo de 8 m y el de 15 m, donde a mayor es la profundidad la presencia de coliformes es menor.

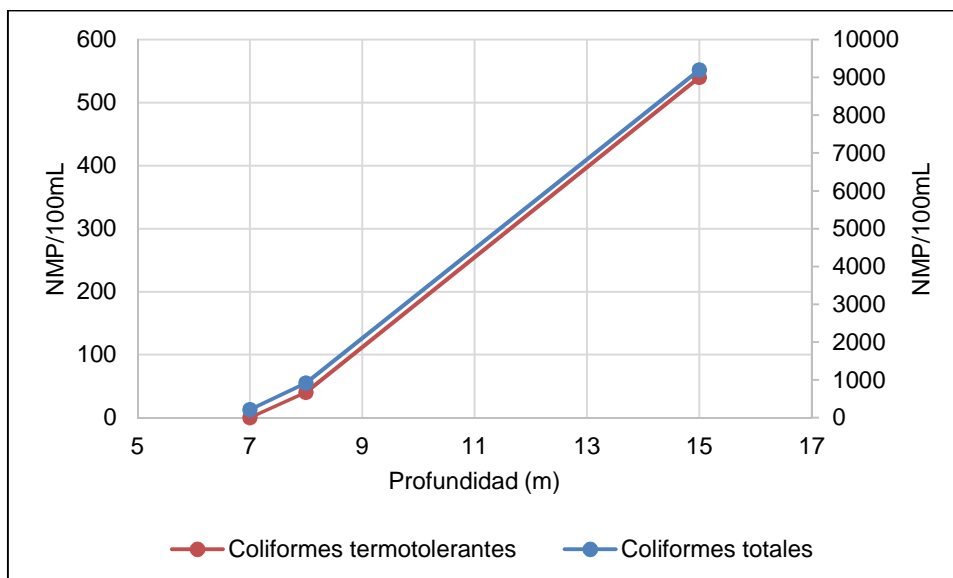


Figura 25: Relación de profundidad de los pozos con coliformes totales y termotolerantes en el mes de junio

Figura 25: Se muestra que en el pozo de 15 m de profundidad tiene una cantidad mayor de coliformes a comparación del pozo de 8 m y 7 m, sin embargo se sabe que, a mayor profundidad, menor debe ser la concentración de coliformes; esto puede depender de una contaminación externa.

5.4. Relación entre calcio, magnesio, alcalinidad y dureza:

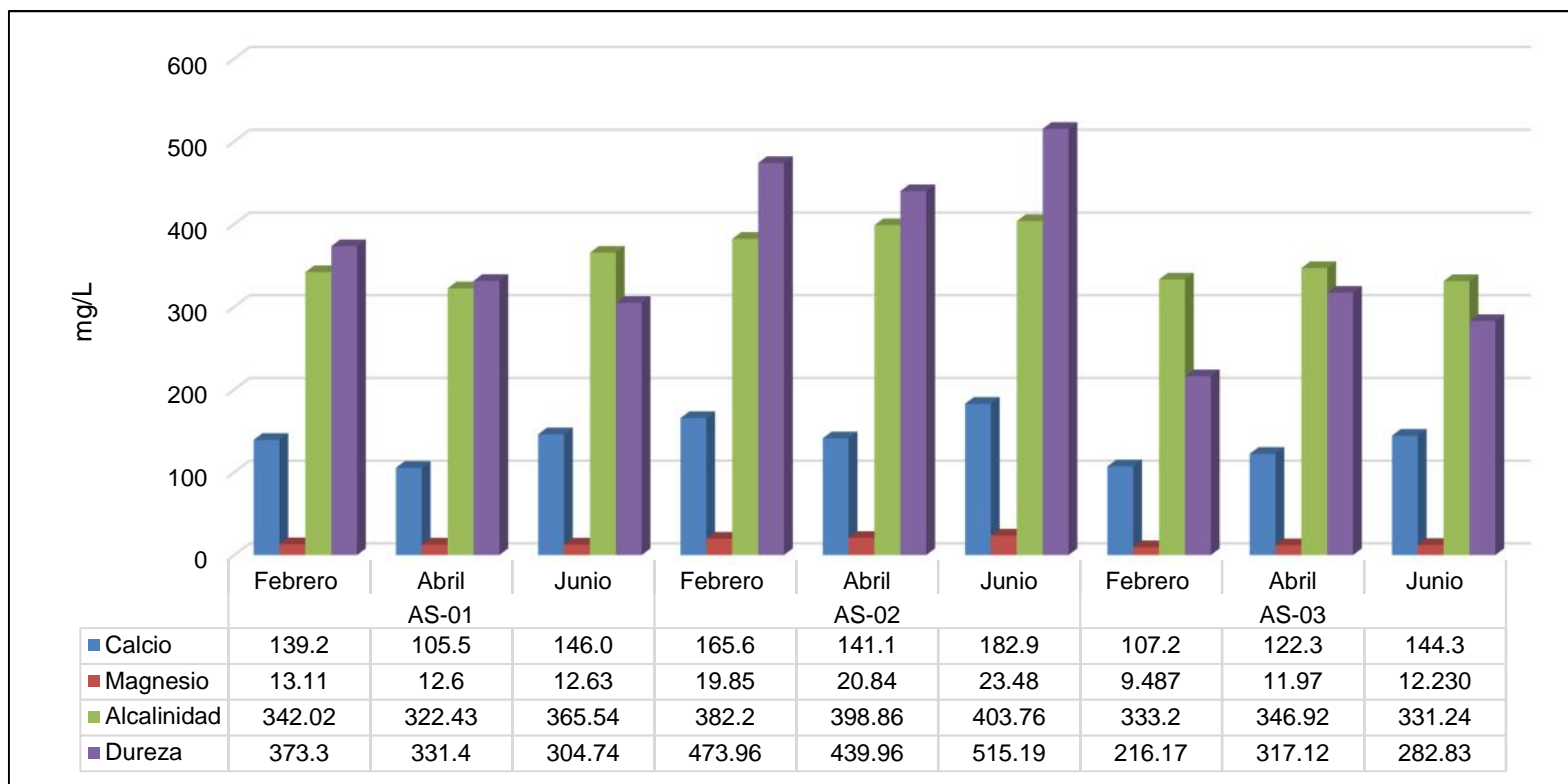


Figura 26: Relación entre calcio, magnesio, alcalinidad y dureza

Figura 26: La presencia de calcio y magnesio son factores que determinan la alcalinidad del agua; mientras disminuya la concentración de estos parámetros, la alcalinidad también va a disminuir. Por otro lado la dureza tiene relación con las sales de magnesio, calcio y la alcalinidad, mientras estos aumentan, la dureza aumentará; a excepción de los muestreos del punto AS-03 y el muestreo de junio del primer punto, donde la dureza puede ser no carbonácea debido a la presencia de sales sulfato, hierro, entre otros elementos que determinan la dureza del agua.

5.5. Método de comparación de medias:

De las siguientes Tablas se determinará si el total de coeficientes de variación obtenidos de los resultados de cada parámetro en las tres diferentes campañas, son mayores al 50% para asegurar que el método de muestreo es correcto, para ello se identificaron los valores de coeficiente de variación de cada parámetro que sean 33%, lo cual representa que hay poca variabilidad en los resultados, una vez identificado la cantidad de valores mayores o iguales al 33%, se dividirá dicha cantidad entre el total de parámetros.

Para el método estadístico se consideró un porcentaje de confiabilidad de 90%, donde el valor que sea mayor al porcentaje establecido significará que los parámetros están dentro de los límites máximos permisibles o estándares de calidad ambiental subcategoría A1, de lo contrario los parámetros no cumplirán con lo que dicta la normatividad. Para ello se hizo comparación de las medias obtenidas de los resultados de cada parámetro en las tres diferentes campañas, con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de calidad del agua para consumo humano de acuerdo al D.S 031-2010-SA y con los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 de acuerdo al D.S 004-2017-MINAM; una vez hecha la comparación se dividirá la cantidad de valores que cumplan con cada normatividad entre el total de parámetros físicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 16:
Comparación de medias en el punto AS-01

| Parámetro | LMP | ECA A1 | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|----------------|-----------|-----------|---------|------------------------|-----------------------------|
| Físicoquímico | | | | | |
| Aluminio (Al) | 0.2 | 0.9 | 0.032 | 0.055 | 173.205 |
| Boro (B) | 1.5 | 2.4 | 0.215 | 0.318 | 148.193 |
| Bario (Ba) | 0.7 | 0.7 | 0.103 | 0.003 | 2.913 |
| Hierro (Fe) | 0.3 | 0.3 | 0.028 | 0.030 | 109.413 |
| Manganeso (Mn) | 0.4 | 0.4 | 0.012 | 0.012 | 102.260 |
| Molibdeno (Mo) | 0.07 | 0.07 | 0.001 | 0.001 | 173.205 |
| Sodio (Na) | 200 | | 13.390 | 0.754 | 5.628 |
| Selenio (Se) | 10 | 0.04 | 0.030 | 0.032 | 105.357 |
| Conductividad | 1500 | 1500 | 653.000 | 22.869 | 3.502 |
| Turbiedad | 5 | 5 | 1.640 | 1.647 | 100.399 |
| Cloruro | 250 | 250 | 22.343 | 2.260 | 10.113 |
| Nitritos | 0.2 | 3 | 0.076 | 0.073 | 95.944 |
| Nitratos | 50 | 50 | 0.133 | 0.045 | 33.819 |
| Dureza total | 500 | 500 | 336.480 | 34.561 | 10.271 |
| Sulfato | 250 | 250 | 61.000 | 16.823 | 27.578 |
| pH | 6.5 a 8.5 | 6.5 – 8.5 | 7.717 | 0.427 | 5.535 |

| | | | | | |
|----------------------------|------|------|----------|----------|---------|
| OD | | 6 | 5.490 | 0.792 | 14.431 |
| SDT | 1000 | 1000 | 474.333 | 14.154 | 2.984 |
| Microbiológicos | | | | | |
| Coliformes totales | 0 | 50 | 3363.333 | 5055.594 | 150.315 |
| Coliformes termotolerantes | 0 | 20 | 187.000 | 305.707 | 163.480 |

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{11}{20} * 100 = 55\% \quad (4)$$

Según la Ecuación 4 el método de muestreo es correcto ya que el 55% de coeficientes de variación de cada parámetro presentan poca variabilidad en sus resultados, sabiendo que para determinar un correcto muestreo el porcentaje debe ser 50%.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{18}{20} * 100 = 90\% \quad (5)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-01 con respecto a los LMP, según la Ecuación 5, es de 90% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto es estadísticamente confiable ya que cumple con la normatividad peruana, sin embargo el 10% de parámetros no se encuentra dentro de los límites establecidos.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{17}{20} * 100 = 85\% \quad (6)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-01 con respecto a los ECA, según la Ecuación 6, es de 85% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto no es estadísticamente confiable ya que no cumple con la normatividad peruana, siendo los parámetros que no cumplen con lo establecido: el oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los cuales representan el 15% de error.

Tabla 17:
Comparación de medias en el punto AS-02

| Parámetro | LMP | ECA A1 | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|-------------------------------|-----------|-----------|---------|------------------------|-----------------------------|
| Físicoquímico | | | | | |
| Aluminio (Al) | 0.2 | 0.9 | 0.028 | 0.025 | 89.590 |
| Boro (B) | 1.5 | 2.4 | 0.260 | 0.393 | 150.918 |
| Bario (Ba) | 0.7 | 0.7 | 0.428 | 0.006 | 1.301 |
| Molibdeno (Mo) | 0.07 | 0.07 | 0.002 | 0.002 | 86.603 |
| Sodio (Na) | 200 | | 26.790 | 2.782 | 10.386 |
| Plomo (Pb) | 0.01 | 0.01 | 0.002 | 0.003 | 173.205 |
| Selenio (Se) | 10 | 0.04 | 0.027 | 0.025 | 90.310 |
| Conductividad | 1500 | 1500 | 945.000 | 43.278 | 4.580 |
| Turbiedad | 5 | 5 | 1.013 | 0.217 | 21.447 |
| Cloruro | 250 | 250 | 51.010 | 6.820 | 13.369 |
| Nitritos | 0.2 | 3 | 0.220 | 0.117 | 53.370 |
| Nitratos | 50 | 50 | 0.207 | 0.071 | 34.329 |
| Dureza total | 500 | 500 | 476.370 | 37.673 | 7.908 |
| Sulfato | 250 | 250 | 182.000 | 94.636 | 51.998 |
| pH | 6.5 a 8.5 | 6.5 – 8.5 | 7.643 | 0.284 | 3.720 |
| OD | | 6 | 5.180 | 0.469 | 9.061 |
| SDT | 1000 | 1000 | 672.333 | 29.4 | 4.373 |
| Microbiológicos | | | | | |
| Coliformes totales | 0 | 50 | 566.667 | 308.599 | 54.459 |
| Coliformes termotolerantes | 0 | 20 | 22.667 | 19.218 | 84.786 |

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{10}{19} * 100 = 52.6\% \quad (7)$$

Según la Ecuación 7, el método de muestreo en el punto AS-02 es correcto ya que el 52.6% de coeficientes de variación de cada parámetro presentan poca variabilidad en sus resultados, sabiendo que para determinar un correcto muestreo el porcentaje debe ser 50%.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{16}{19} * 100 = 84.2\% \quad (8)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-02 con respecto a los LMP según la Ecuación 8, es de 84.2% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto no es estadísticamente confiable ya que no cumple con la normatividad peruana, siendo los

parámetros que no cumplen con lo establecido: los nitritos, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los cuales representan el 15.8% de error.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{16}{19} * 100 = 84.2\% \quad (9)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-02 con respecto a los ECA según la Ecuación 9, es de 84.2% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto no es estadísticamente confiable ya que no cumple con la normatividad peruana, siendo los parámetros que no cumplen con lo establecido: el oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los cuales representan el 15.8% de error.

Tabla 18:
Comparación de medias en el punto AS-03

| Parámetro | LMP | ECA A1 | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|--------------------------|
| Físicoquímico | | | | | |
| Aluminio (Al) | 0.2 | 0.9 | 0.092 | 0.087 | 94.534 |
| Boro (B) | 1.5 | 2.4 | 0.183 | 0.299 | 162.923 |
| Bario (Ba) | 0.7 | 0.7 | 0.101 | 0.010 | 9.548 |
| Hierro (Fe) | 0.3 | 0.3 | 0.021 | 0.021 | 100.000 |
| Manganeso (Mn) | 0.4 | 0.4 | 0.004 | 0.006 | 173.205 |
| Molibdeno (Mo) | 0.07 | 0.07 | 0.001 | 0.002 | 173.205 |
| Sodio (Na) | 200 | | 16.663 | 8.008 | 48.058 |
| Plomo (Pb) | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.002 | 173.205 |
| Conductividad | 1500 | 1500 | 682.333 | 33.081 | 4.848 |
| Turbiedad | 5 | 5 | 6.227 | 6.905 | 110.897 |
| Cloruro | 250 | 250 | 21.743 | 3.364 | 15.469 |
| Nitritos | 0.2 | 3 | 0.130 | 0.030 | 23.077 |
| Nitratos | 50 | 50 | 0.137 | 0.080 | 58.689 |
| Dureza total | 500 | 500 | 272.040 | 51.333 | 18.870 |
| Sulfato | 250 | 250 | 41.333 | 31.896 | 77.167 |
| pH | 6.5 a 8.5 | 6.5 – 8.5 | 7.743 | 0.193 | 2.499 |
| OD | | 6 | 4.750 | 0.207 | 4.350 |
| SDT | 1000 | 1000 | 692 | 23.798 | 3.439 |
| Microbiológicos | | | | | |
| Coliformes totales | 0 | 50 | 3363.333 | 5055.594 | 150.315 |
| Coliformes termotolerantes | 0 | 20 | 187.000 | 305.707 | 163.480 |

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{11}{20} * 100 = 55\% \quad (10)$$

Según la Ecuación 10, el método de muestreo en el punto AS-03 es correcto ya que el 55% de coeficientes de variación de cada parámetro presentan poca variabilidad en sus resultados, sabiendo que para determinar un correcto muestreo el porcentaje debe ser 50%.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{17}{20} * 100 = 85\% \quad (11)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-03 con respecto a los LMP, según la Ecuación 11, es de 85% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto no es estadísticamente confiable ya que no cumple con la normatividad peruana, siendo los parámetros que no cumplen con lo establecido: la turbiedad, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los cuales representan el 15% de error.

$$\text{Nivel de confianza} = \frac{16}{20} * 100 = 80\% \quad (12)$$

El nivel de confianza para los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en el punto AS-03 con respecto a los ECA, según la Ecuación 12, es de 80% con respecto al porcentaje de confiabilidad establecido de 90%. Esto significa que la evaluación en este punto no es estadísticamente confiable ya que no cumple con la normatividad peruana, siendo los parámetros que no cumplen con lo establecido: la turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerantes; los cuales representan el 20% de error.

CONCLUSIONES

- La calidad del agua subterránea en los tres puntos de muestreo no es aceptable, esto se debe a la presencia excedente de coliformes totales como termotolerantes, los cuales superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de calidad para el agua de consumo humano y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1, por lo que el agua obtenida de estos pozos deben ser potabilizadas por desinfección. Por otro lado, los nitritos en el segundo punto exceden los límites máximos permisibles la cual no la hace apta para consumo, esto puede causar metahemoglobinemia en los niños. Según el promedio en el último punto de muestreo, la turbiedad no cumple con los límites ni los estándares de calidad establecidos, por lo que la hace un agua no aceptable para el consumo y es necesario un tratamiento por desinfección; una elevada concentración de turbiedad protege a los microorganismos de la desinfección y estimula a la proliferación de bacterias. Por otro lado el oxígeno disuelto, según el promedio de los resultados en los tres puntos de muestreo, no cumple con los estándares de calidad ambiental en ningún punto de muestreo.
- Las concentraciones promedio de los parámetros físicoquímicos para el punto AS-01 fueron: 0.032 mg/L de aluminio, 0.215 mg/L de boro, 0.103 mg/L de bario, 130.233 mg/L de calcio, 0.028 mg/L de hierro, 0.731 mg/L de potasio, 0.004 mg/L de litio, 12.78 mg/L de magnesio, 0.012 mg/L de manganeso, 0.001 mg/L molibdeno, 13.39 mg/L de sodio, 0.075 mg/L fósforo, 17.957 mg/L de azufre, 0.03 mg/L de selenio, 6.354 mg/L de silicio, 0.726 mg/L de estroncio, 653 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 1.64 UNT de turbiedad, 343.33 mg/L de alcalinidad total, 22.343 mg/L de cloruro, 0.076 mg/L de nitrito, 0.133 mg/L de nitrato, 2.097 mg/L de fosfato, 336.48 mg/L de dureza total, 61 mg/L de sulfato, 7.171 de pH, 5.49 mg/L de oxígeno disuelto, 474.333 mg/L de SDT y 0.347 ppt de salinidad. Las concentraciones promedio para el punto AS-02 fueron: 0.028 mg/L de aluminio, 0.26 mg/L de boro, 0.428 mg/L de bario, 163.2 mg/L de calcio, 28.46 mg/L de potasio, 0.001 mg/L de litio, 21.39 mg/L de magnesio, 0.002 mg/L de molibdeno, 26.79 mg/L de sodio, 0.211 mg/L de fósforo, 0.002 mg/L de plomo, 41.82 mg/L de azufre, 0.027 mg/L de selenio, 9.837 mg/L de silicio, 0.763 mg/L de estroncio, 0.003 mg/L de vanadio, 945 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 1.013 UNT de turbiedad, 394.94 mg/L de alcalinidad total, 51.01 mg/L de cloruro, 0.22 mg/L de nitrito, 0.207 mg/L de nitrato, 3.82 mg/L de fosfato, 476.37 mg/L de dureza total, 182 mg/L de sulfato, 7.643 de pH, 5.18 mg/L de oxígeno disuelto, 672.333 mg/L de SDT y 0.477 ppt de salinidad. Finalmente las concentraciones promedio de los parámetros físicoquímicos para el punto AS-03 fueron: 0.092 mg/L de aluminio, 0.183 mg/L de boro, 0.101 mg/L de bario, 124.6 mg/L de calcio, 0.021 mg/L de hierro, 7.871 mg/L de potasio, 11.229 mg/L de magnesio, 0.004 mg/L de manganeso, 0.001 mg/L de molibdeno, 16.663 mg/L de sodio, 0.107 mg/L de fósforo, 0.001 mg/L de plomo, 19.656 mg/L de azufre, 7.375 mg/L de silicio, 0.728 mg/L de estroncio, 0.004 mg/L de vanadio, 682.333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad, 6.227 UNT de turbiedad, 337.12 mg/L de alcalinidad total, 21.743 mg/L de cloruro, 0.13 mg/L de nitrito,

0.137 mg/L de nitrato, 1.020 mg/L fosfato, 272.040 mg/L de dureza total, 41.333 mg/L de sulfato, 7.743 de ph, 4.75 mg/L de oxígeno disuelto, 486.667 mg/L de SDT y 0.347 ppt de salinidad.

- Las concentraciones promedio de los parámetros microbiológicos en el punto AS-01 fueron: 445 NMP/100mL de coliformes totales y 187 NMP/100mL de coliformes termotolerantes. Para el punto AS-02 fueron 566.667 NMP/100mL de coliformes totales, 22.667 NMP/100mL de coliformes termotolerantes. Finalmente para el punto AS-03 las concentraciones promedio fueron 565 NMP/100mL de coliformes totales, 18.933 NMP/100mL de coliformes termotolerantes.
- En el punto AS-01 el oxígeno disuelto no se encuentra dentro del estándar de calidad ambiental A1 que es 6 en los meses de abril y junio con valores de 5.3 y 4.81 mg/L respectivamente; los coliformes totales fueron de 540, 350 y 9200 NMP/100mL en los meses de febrero, abril y junio respectivamente y en los tres meses los resultados superaron los límites del reglamento de la calidad del agua para consumo; lo que significa que el agua requiere un tratamiento de desinfección para ser potabilizada según la subcategoría A1 de los estándares de calidad ambiental; la concentración de coliformes termotolerantes en los meses de febrero, abril y junio fueron 10, 11 y 540 NMP/100mL respectivamente donde en los meses de febrero y abril los resultados superan LMP, mas no supera los ECA subcategoría, lo que significa que el agua requiere tratamiento de desinfección para potabilizarla; mientras que en el mes de junio el resultado si supera los LMP Y ECA A1. En el punto AS-02 la concentración de selenio, en el mes de febrero es menor que el límite de cuantificación de métodos, en el mes de abril tiene como resultado 0.034 mg/L y 0.048 mg/L en el mes de junio, siendo este último el excede en concentración a comparación de los estándares de calidad ambiental, más no los límites; la concentración de nitritos en los meses de febrero, abril y junio son de 0.167, 0.354 y 0.138 mg/L respectivamente, siendo el resultado del mes abril el que presenta mayor cantidad de nitritos que excede al límite máximo permisible, más ningún resultado supera los estándares de calidad; la dureza del agua es mayor en el mes de junio con un valor de 515.19 mg/L, el cual supera los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1, mientras que en los meses de febrero y abril, los resultados fueron 473.96 y 439.96 mg/L respectivamente y no superan los límites establecidos por la normatividad peruana; por otro lado, la concentración de sulfatos en los meses de febrero, abril y junio fueron 152, 106 y 288 mg/L respectivamente, siendo en el mes de junio donde se supera los estándares y los límites máximos permisibles; el oxígeno disuelto no se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental subcategoría A1 en ninguna campaña de muestreo, siendo los resultados 5.49, 4.64 y 5.41 mg/L; los coliformes totales fueron de 430, 350 y 920 NMP/100mL en los meses de febrero, abril y junio respectivamente y en los tres meses los resultados superaron los LMP y los ECA subcategoría A1; los resultados de los coliformes termotolerantes en los meses de febrero, abril y junio fueron de 2, 26 y 40 NMP/100mL, donde en el mes de febrero, el resultado supera los LMP, lo cual indica que no es apta para consumo, más no supera los ECA subcategoría A1 lo que significa que el agua requiere tratamiento de desinfección para potabilizarla, mientras que en los meses de abril y junio

si superan ambos reglamentos. En el punto AS-03 la turbiedad tuvo un incremento en la primera campaña de muestreo con un valor de 14.2 UNT, el cual supera los límites máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano y los estándares de calidad ambiental subcategoría A1, mientras que los resultados de las dos últimas campañas tienen un valor de 2.21 y 2.27 UNT; el oxígeno disuelto en el agua en las tres campañas fueron 4.97, 4.56 y 4.72 mg/L, que se encuentran por debajo de lo establecido en la normatividad, por lo que es necesario aplicar un tratamiento; los coliformes totales fueron de 920, 1600 y 210 NMP/100mL en los meses de febrero, abril y junio respectivamente y en los tres meses los resultados superaron los límites del reglamento de la calidad del agua para consumo humano y los estándares de calidad; los resultados de los coliformes termotolerantes en los meses de febrero, abril y junio fueron 7.8, 49 y 0 NMP/100mL respectivamente, en los meses de febrero y junio los resultados sobrepasan los límites establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano, mas no superan el estándar de calidad subcategoría A1, lo que significa que no es apta para consumo humano y requiere tratamiento de desinfección para potabilizarla. Mientras que en el mes de abril, el resultado solo supera los LMP.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de evitar mayor impacto negativo en las aguas de consumo humano proveniente de los pozos del centro poblado Pata Pata, ubicado en el distrito de Paríamarca y contribuir a que se garantice un agua de mejor calidad, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar programas de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, por parte de la Municipalidad Distrital de Paríamarca a través de la E.P.S. SEDACAJ S.A y DIGESA.
- Educar a la población como medida inmediata sobre cómo hacer uso del agua proveniente de pozos en labores domésticas, agrícolas, comerciales entre otros.
- Realizar potabilización, desinfección y cloración en aguas de pozo a través de la E.P.S SEDACAJ S.A. para evitar problemas en la salud de la población.
- Identificar las zonas de abastecimiento más vulnerables a la variación de la calidad del agua de consumo humano identificar las fuentes de contaminación.
- Para tratar aguas contaminadas por coliformes se recomienda hervir el agua, que es un método temporal para eliminar bacterias, donde el hervor debe ser durante un minuto completo para poder ser utilizada para el consumo.
- Para tratar la turbiedad se recomienda recubrir los pozos con geo membrana, por el desplome de los mismos o hacer uso de filtros que retengan los sólidos que se encuentran en el agua.
- Una solución para eliminar los nitritos de su agua es oxidándolos a nitratos, ya que éstos son menos tóxicos. Esto puede conseguirse mediante la inyección de ozono en el agua. El ozono es un producto químico muy oxidante que oxidará todos los nitritos a nitratos.
- Ya que se bombea el agua subterránea hacia un tanque, es recomendable colocar un filtro antisarro, ya que no solo evita la precipitación del calcio y el magnesio en el metal que forman cal de sarro, sino que asimismo desgasta y elimina el sarro ya existente en sus cañerías y artefactos.
- Para tratar aguas duras también recomienda aplicar un tratamiento llamado “ablandamiento de agua”, que consiste en una técnica para eliminar iones que hacen que el agua sea dura como calcio y magnesio, se puede utilizar soda cáustica para que los carbonatos puedan ser precipitados.

- Otro método efectivo y de bajo costo es el carbón activado para un mejor rendimiento del proceso de tratamiento de desinfección, donde las impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales tales como: carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (Abril de 2000). Estándares del Reglamento Nacional Primario del Agua Potable. Estados Unidos.
- Agencia de Protección del Medio Ambiente de California . (Marzo de 2013). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica y Salinidad*. Obtenido de [waterboards.ca.gov: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf)
- Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Agosto de 2007). División de Toxicología y Medicina Ambiental - Resumen de Salud Pública Bario.
- Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Estroncio (Strontium)*. Obtenido de www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs159.html
- APHA,AWWA,WPCF. (2017). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition*.
- Asociación Española del Aluminio. (Abril de 2008). Aluminio y Salud. Madrid.
- Calsín Ramírez, K. V. (2016). Calidad Física, Química y Bacteriológica de Aguas Subterráneas de Consumo Humano en el Sector de Taparachi III de l Ciudad de Juliaca Puno - 2016 (Título de Licenciado en Biología). Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Carrera Pérez, Álvarez Gonzáles, & Fernández Cirelli. (2014). *Vanadio en agua de bebida animal de tambos del sudeste de Córdoba, Argentina*. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-34982014000100005
- D.S N° 004-2017-MINAM. (14 de Septiembre de 2017). Estándares de Calidad Ambiental para Agua . 13 -14.
- D.S. N° 031-2010-SA. (2011). Límites máximos permisibles para agua de consumo humano. 38- 42. Lima.
- Dirección General de Salud Ambiental. (s.f.). *Grupo de Estudio Técnico Ambiental - Parametros a Evaluar*.
- Gestión sostenible del agua. (2016). *Azufre*. Obtenido de gidahatari.com/ih-es/si-el-contenido-de-azufre-en-el-agua-de-un-pozo-es-un-poco-alto-sigue-siendo-segura-para-beber
- HACH COMPANY. (2013). *Manual de análisis de Agua*. Colorado, EE.UU.
- INTAGRI. (2017). *La Alcalinidad del Agua y su Efecto en los Sustratos*. Obtenido de www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-alcalinidad-del-agua-y-su-efecto-en-los-sustratos

- Lenntech. (2018). *Propiedades químicas del litio - Efectos del litio sobre la salud - Efectos ambientales del litio*. Obtenido de www.lenntech.es/periodica/elementos/li.htm
- Lenntech. (2018). *Tratamiento y purificación del agua*. Obtenido de www.lenntech.es/periodica/elementos/
- Mamani Vilcapaza, E. (2012). *Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea*. Lima.
- María Victoria, V. O. (1999). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Obtenido de bdigital.unal.edu.co:www.bdigital.unal.edu.co/4993/1/Capitulos_1-5.pdf
- McFarland, M., & Dozier, M. (2005). *Estándares del Agua Potable*. Obtenido de https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87331/pdf_2163.pdf?sequence=1
- MINAM. (15 de Octubre de 2005). *Ley General del Ambiente*. Obtenido de [minam.gob.pe: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf](http://minam.gob.pe:chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf)
- Neira Gutiérrez, M. (Noviembre de 2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Chile.
- North California Public Health. (Septiembre de 2009). Hoja informativa sobre el agua de pozos. *Las bacterias coliformes*.
- Organización Mundial de la Salud. (1998). *Guías para la calidad del agua potable, tercera edición*. Obtenido de www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- R.D. Arizábalo, G. D. (1991). *a Contaminacion del Agua Subterranea y su Transporte en Medios Porosos*. México.
- Ramírez Mejía, L. L. (Octubre de 2003). Estudio Sobre la Calidad de Agua Subterránea del área Noreste del Valle de la Ciudad Capital de Guatemala (Título de Ingeniero Civil). Guatemala, México: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ravelo Polo, B. (25 de Junio de 2012). Adsorción de Boro del Agua. España.
- Sánchez San Román, J. (s.f.). *Contaminación de las Aguas Subterráneas*. Obtenido de [hidrologia.usal.es: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf](http://hidrologia.usal.es:chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf)
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Colombia: Ediciones de la U.

- Sigler , A., & Bauder, J. (2015). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. Obtenido de http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Aguas Subterráneas - Acuíferos*. Lima.
- Tapp water. (2018). *TDS: ¿Una manera fiable de medir la calidad del agua?* Obtenido de tappwater.co/es/tds-medir-calidad-agua/
- Texas Department of State Health Services, Environmental and Injury Epidemiology & Toxicology Group. (Marzo de 2012). Molibdeno.
- Unión Europea. (Noviembre de 1998). *Estándares para agua potable de la Unión Europea*. Obtenido de lenntech.com: <https://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/eu-s-drinking-water-standards.htm>
- Vásquez, M., Pimentel, J. L., & Ortega, M. (Mayo de 2010). *Estudio de la distribución de boro en fuentes de agua de la cuenca del río Duero, México, utilizando análisis estadístico multivariado*. Obtenido de scielo. org: www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n1/v27n1a2.pdf
- Vence Marquéz, L., Rivera Gonzáles, M., Osorio Bayter, Y., & Castillo Sarabia, A. B. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesas, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 27 - 35.

ANEXOS

ANEXO N° 01: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 27: Toma de muestra en el punto AS-01



Figura 28: Análisis insitu en el punto AS-01



Figura 29: Toma de muestras en el punto AS-02



Figura 30: Análisis insitu en el punto AS-02



Figura 31: Toma de muestras en el punto AS-03



Figura 32: Análisis insitu en el punto AS-03



Figura 33: Instrumentos para analizar parámetros químicos



Figura 34: Proceso de análisis químico

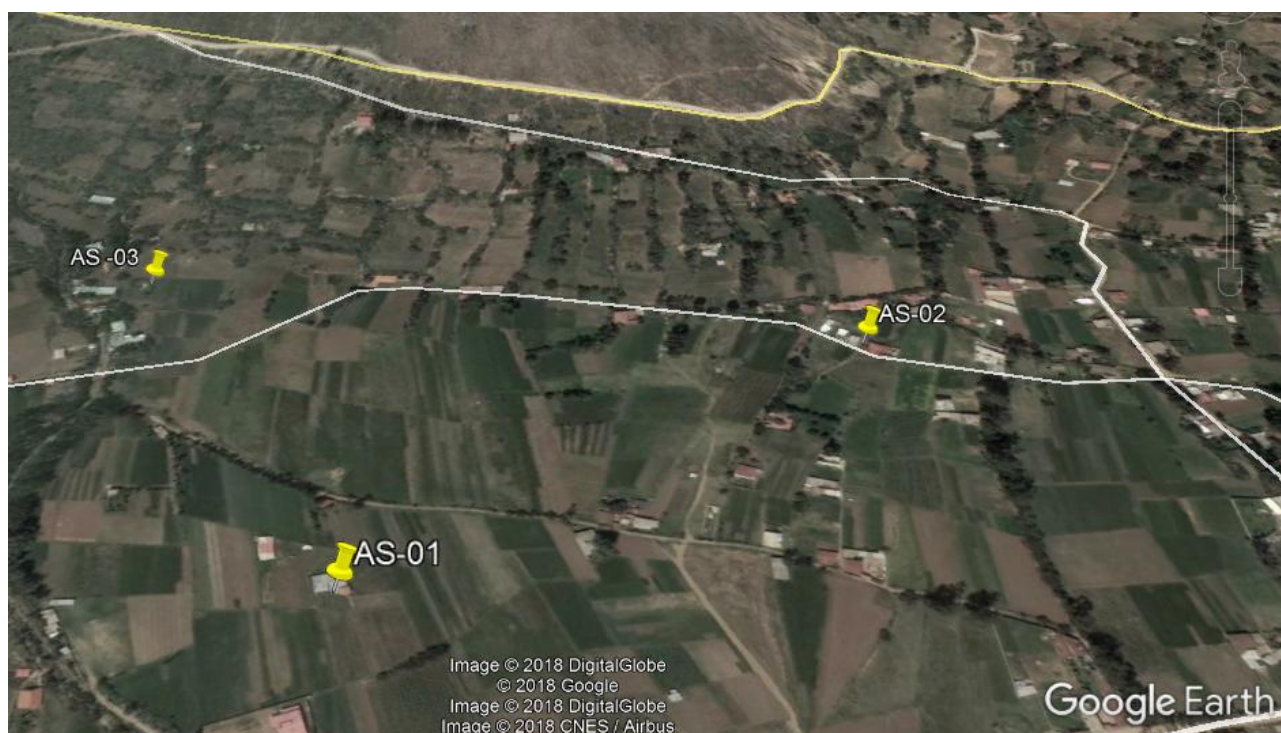


Figura 35: Análisis en laboratorio de parámetros químicos



Figura 36: Análisis de parámetros químicos

ANEXO N° 02: UBICACIÓN GEORREFERENCIADA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO OBTENIDOS DE GOOGLE EARTH



Fuente: Google earth

Figura 37: Ubicación de los tres puntos de muestreo

| Pozo | Latitud | Longitud |
|---------|--------------|---------------|
| AS – 01 | 7°12'5.54"S | 78°28'57.43"O |
| AS – 02 | 7°11'57.71"S | 78°29'8.36"O |
| AS – 03 | 7°12'14.74"S | 78°29'5.96"O |

ANEXO 05: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS